Qiara Media

MEKATRONIKA

Zufri Hasrudy Siregar, S.T.,M.Eng
Mawardi, S.T., M.T
Dr. Masdania Zurairah, M.Si

MEKATRONIKA

Buku ini adalah gabungan dari beberapa cabang ilmu keteknikan, di antara nya: Teknik Mesin/Mekanik, Teknik Elektro, dan Pengetahuan Perangkat Lunak (software)

Zufri Hasrudy Siregar, S.T.,M.Eng
Mawardi, S.T.,M.T
Dr. Masadania Zurairah, M.Si

MEKATRONIKA

CV. PENERBIT QIARA MEDIA
283 hlm : 15,5 x 23 cm

Copyright @2021 Penulis
ISBN: 978-623-792-585-9
Penerbit IKAPI No. 237/JTI/2019

Penulis :
Zufri Hasrudy Siregar, S.T.,M.Eng
Mawardi, S.T.,M.T
Dr. Masdania Zurairah, M.Si

Editor: Tim Qiara Media
Layout: Kharisma Amalia
Desainer Sampul: Dema Nurvita Loka
Gambar diperoleh dari www.google.com

Cetakan Pertama, 2021

Diterbitkan oleh :
CV. Penerbit Qiara Media – Pasuruan, Jawa Timur
Email: qiaramediapatner@gmail.com
Web: qiaramedia.wordpress.com
Blog: qiaramediapatner.blogspot.com
Instagram: qiara_media

Hak cipta dilindungi oleh undang-undang. Dilarang mengutip dan/atau memperbanyak Sebagian atau seluruh isi buku tanpa izin tertulis penerbit.

Dicetak Oleh CV. Penerbit Qiara Media
Isi diluar tanggung jawab Percetakan

UNDANG-UNDANG REPUBLIK INDONESIA
NOMOR 19 TAHUN 2002
TENTANG HAK CIPTA

PASAL 72
KETENTUAN PIDANA
SANKSI PIDANA

a. Barangsiapa dengan sengaja melanggar dan tanpa hak melakukan perbuatan sebagaimana dimaksud dalam Pasal 2 Ayat (1) atau Pasal 49 Ayat (1) dan Ayat (2) dipidana dengan pidana penjara masing-masing paling singkat 1 (satu) bulan dan/atau denda paling sedikit Rp. 1.000.000,00 (satu juta rupiah), atau pidana paling lama 7 (tujuh tahun dengan atau denda paling banyak Rp. 5.000.000.000,00 (Lima miliar rupiah).
b. Barangsiapa dengan sengaja menyiarkan, memamerkan, mengedarkan, atau menjual kepada umum suatu ciptaan atau barang hasil pelanggaran hak cipta atau hak terkait sebagai dimaksud apada Ayat (1) dipidana dengan pidana penjara paling lama 5 (lima) tahun dan/atau denda paling banyak Rp. 500.000.000,00 (Lima ratus juta rupiah).

Persembahan

Buku ini saya dedikasikan kepada Istri dan Anak saya (Sadra Al Ghifari Siregar) yang memberikan semangat dan motivasi untuk tetap berkarya serta kepada keluarga besar Siregar dan Almamater Tercita UGM

DAFTAR ISI

Pendahuluan.....xvi

Kata Pengantar..... **xvi**

Ucapan Terima kasih ..... **xviii**

Pengenalan ..... **xix**

Bab 1.....**1**

Pengantar Mekatronika.....**1**

Apa itu..?.....2

MEKATRONIKA 2

Manfaat konsep Mekatronika.....3

Komponen Utama Mekatronika 4

Macam macam Diagram Blok dan Komponen komponennya 7

Bab 2.....**13**

Konsep Mekanika.....**13**

MEKANIKA.....14

Transmisi Mekanik.....14

Roda Gigi.....15

Kinematika.....17

Pneumatik 21

Hidrolika 31

Bab 3.....**36**

Dasar Elektronika **36**

Dasar Elektronika.....37

Arus listrik 37

Energi dan Daya.....42

Elemen rangkaian listrik.....43

Semikonduktor.....47

Bab 4.....**87**

Aktuator Elektrik.....**87**

Aktuator Elektrik 88

Bab 5.....**100**

Sistem kendali dan Sensor **100**

Sistem kendali dan sensor 101
SISTEM KENDALI 101
SENSOR 109
Bab 6 135
Sistem Logika 135
Sistem logika 136
Bab 7 153
Sistem Digital dan Akuisisi Data 153
Sistem Digital 154
Akuisisi Data 183
Bab 8 203
Mikroprosesor 203
Mikroprosesor 204
Arsitektur Mikroprosesor 208
Saluran saluran pada Mikroprosessor 214
Bab 9 234
Mikrokontroler 234
Mikrokontroler 235
Sejarah Mikrokontroler 235
Perbedaan Mikroprosesor dan Mikrokontroler 238
Arsitektur Mikrokontroler 239
Prinsip Kerja Mikrokontroler 241
Produsen Mikrokontroler 242
Bab 10 249
Pengenalan PLC (Programmable Logic Controller) 249
PLC 250
Prinsip kerja PLC 253
Bagian bagian PLC 256
Bahasa Pemrograman 262
Instruksi Pemrograman 263
Eksekusi Program 266
Prosedur program PLC 266
Bab 11 269
Arduino 269
Arduino 270

Sejarah Arduino 270
Jenis Arduino 272
Arduino IDE 276
Breadboard/ Project Board 278
Daftar Pustaka 282

Daftar Tabel

Tabel 1 kode kapasitor keramik....56
Tabel 2 warna resistor....60
Tabel 3 Rumus dan besaran SI....71
Tabel 4 Kelebihan dan Kekurangan motor *stepper*....95
Tabel 5 Penggunaan Kontrol Sekuens....103
Tabel 6 Kebenaran AND....137
Tabel 7 Kebenaran OR....138
Tabel 8 Kebenaran NOT....139
Tabel 9 Kebenaran NAND....141
Tabel 10 Kebenaran NOR....142
Tabel 11 Kebenaran X-OR....143
Tabel 12 Kebenaran X-NOR....143
Tabel 13 Tabel Kebenaran Z = A+(B.C)....148
Tabel 12 Kebenaran Z = (A+B).C....149
Tabel 15 Kebenaran Z = (A+B).A'....150
Tabel 16 Kebenaran Z = A+(B.C)....150
Tabel 17 Kebenaran F = A+B....151
Tabel 18 Kebenaran F = ABC + A'BC + AB'C....151
Tabel 19 Kebenaran F = A'B'C'D + A'BC'D + A'B'CD....152
Tabel 20 perbandingan sinyal analog dan digital....166
Tabel 21 contoh ADC....168
Tabel 22 ADC 3 bit tegangan V_{ref} 5 Volt....173
Tabel 23 ADC 3 bit....173
Tabel 24 Perbedaan Mikroprosesor dan Mikrokontroler....238

Daftar Gambar

Gambar 2 Mesin penggerak piston 5
Gambar 3 Sensor Gerak (sensor PIR HC-SR501) 5
Gambar 4 Diagram Blok 6
Gambar 5 Diagram Blok terbuka 7
Gambar 6 Sepeda Motor 8
Gambar 7 Diagram Blok tertutup 9
Gambar 8 AC inverter 10
Gambar 9 Diagram Blok *Close Looping* 10
Gambar 10 Transmisi 14
Gambar 11 Roda Gigi 17
Gambar 12 Perubahan kecepatan pada benda 18
Gambar 13 Derajat dan Radian 19
Gambar 14 Pneumatik 21
Gambar 15 Klasifikasi Elemen Sistem Pneumatik (FESTO Fluid SIM) 25
Gambar 16 Kompresi Fluida 26
Gambar 17 Klasifikasi Kompresor 27
Gambar 18 Sistem Pengolahan Udara Bertekanan 28
Gambar 19 Filter Udara 28
Gambar 20 Tangki Udara 28
Gambar 21 Pengering Udara 29
Gambar 22 Kompresor 29
Gambar 23 Pemisah Air 29
Gambar 24 Tabung Pelumas 30
Gambar 25 Regulator udara 30
Gambar 26 Sistem Kerja Pneumatik 31
Gambar 27 Pompa Hidrolik 34
Gambar 28 Motor Hidrolik 34
Gambar 29 Tegangan 38
Gambar 30 Gardu 3 fase 40
Gambar 31 Gardu 1 fase 41
Gambar 32 rangkaian 2 fase 42
Gambar 33 Menerima Energi 43
Gambar 34 Mengirim Energi 43
Gambar 35 Lambang sumber tegangan bebas 44
Gambar 36 Lambang sumber tegangan tidak bebas 44
Gambar 37 Lambang sumber arus bebas 45
Gambar 38 Lambang sumber arus tidak bebas 45
Gambar 39 Lambang induktor 46
Gambar 40 Simbol diode 47

Gambar 41 Diode dengan titik....48
Gambar 42 Diode dengan cincin....48
Gambar 43 Diode dengan pita warna....49
Gambar 44 Bias maju....49
Gambar 45 Bias mundur....50
Gambar 46 Dioda Normal....50
Gambar 47 dioda Zener....51
Gambar 48 LED....51
Gambar 49 Diode *Bridge*....52
Gambar 50 Diode foto....52
Gambar 51 Diode Laser....53
Gambar 52 Diode *Varactor*....53
Gambar 53 Diode *Tunnel*....54
Gambar 54 Diode *Schottky*....54
Gambar 55 Kapasitor Keramik....56
Gambar 56 Kapasitor *Polyester*....57
Gambar 57 Kapasitor Kertas....57
Gambar 58 Kapasitor Mika....57
Gambar 59 Kapasitor Elektrolit....58
Gambar 60 Kapasitor *Tantalum*....58
Gambar 61 Kapasitor *Electrolytic*....59
Gambar 62 *fixed* resistor....61
Gambar 63 *Precision Wire wound* Resistor....61
Gambar 64 *Precision* Power *Wire wound* Resistor....62
Gambar 65 *Fuse* Resistor....62
Gambar 66 *Carbon Composition*....62
Gambar 67 *Carbon* Film Resistor....63
Gambar 68 Metal Film Resistor....63
Gambar 69 Variabel Resistor....64
Gambar 70 *Cadmium Sulfide Photocell*....65
Gambar 71 Termistor....66
Gambar 72 Transistor....67
Gambar 73 lambang rangkaian PNP dan NPN....67
Gambar 74 Channel FET, Kiri: P-Channel, Kanan: N-Channel....68
Gambar 75 Transistor dua dioda....68
Gambar 76 Rangkaian Transistor....69
Gambar 77 Induktor....71
Gambar 78 lambang induktor....71
Gambar 79 *Integrated Circuit*....73
Gambar 80 IC TTL....74
Gambar 81 IC CMOS....74
Gambar 82 IC Linier....75
Gambar 83 Bentuk Trafo dan simbol....77

Gambar 84 Adaptor AC-DC merupakan Piranti yang menggunakan transformator *step down* 78
Gambar 85 Fluks pada Trafo 79
Gambar 86 hukum Lorentz pada trafo 79
Gambar 87 Inti trafo 80
Gambar 88 lilitan trafo 80
Gambar 89 Trafo daya 81
Gambar 90 ilustrasi penggunaan trafo daya 81
Gambar 91 Trafo IF 82
Gambar 92 Trafo Adaptor 82
Gambar 93 Trafo *Step Down* 83
Gambar 94 Trafo *Step Up* 83
Gambar 95 Trafo *Auto Transformator* 84
Gambar 96 Trafo *Auto Transformator Variabel* 84
Gambar 97 Bagan motor listrik 88
Gambar 98 Konstruksi Solenoid 89
Gambar 99 Bentuk fisik Solenoid 89
Gambar 100 *Motor and ball screw* 89
Gambar 101 *Motor and lead screw* 90
Gambar 102 Motor DC 90
Gambar 103 Lilitan motor AC 91
Gambar 104 Motor AC 91
Gambar 105 konstruksi dan bentuk fisik Bipolar *stepper* motor 94
Gambar 106 konstruksi dan bentuk fisik *Unipolar stepper* motor 94
Gambar 107 Permanent magnet 96
Gambar 108 Variabel *Reluctance* 96
Gambar 109 Permanen Magnet *Hybrid* 97
Gambar 110 *Servo Motor* 98
Gambar 111 Sistem kontrol sekuens pencucian mobil 102
Gambar 112 Kontrol sekuensial dan komponennya 104
Gambar 113 Kontrol Kondisi 105
Gambar 114 Kontrol Batas Waktu 106
Gambar 115 Ilustrasi sistem kontrol sekuens manusia mesin 106
Gambar 116 Saklar 107
Gambar 117 Relay dan Simbolnya 107
Gambar 118 Komponen Relay 108
Gambar 119 Kontaktor Elektromagnetik Pewaktu 108
Gambar 120 Keluaran dari Transduser panas 110
Gambar 121 Temperatur berubah secara kontinu 111
Gambar 122 Konstriksi Bimetal 115
Gambar 123 Respons terhadap temperatur 116
Gambar 124 Konfigurasi termistor (a) *Coated bead* (b) *disk* (c) *Diode* (d) *thin* film ..117

Gambar 125 Grafik *thermistor resistansi* VS *temperature* (a) logaritmik (b) skala linier 117
Gambar 126 Sensor RTD 117
Gambar 127 Beda potensial termokopel 119
Gambar 128 Hubungan termokopel (a) titik beda potensial (b) daerah pengukuran dan titik referensi....119
Gambar 129 Bentuk fisik *Strain Gauge* 121
Gambar 130 Pemasangan *strain gauge*: (a) rangkaian jembatan (b) *gage* 1 dan *gage* 2 posisi 90 (c) *gage* 1 dan *gage* 2 posisi sejajar 122
Gambar 131 Sensor posisi: (a) inti bergeser datar (b) inti I bergeser berputar, (c) rangkaian variabel induktansi 122
Gambar 132 Rangkaian uji sensor posisi induktif 123
Gambar 133 Pemakaian sensor posisi: (a) pada *microphone*, (b) pada *loudspeaker* .123
Gambar 134 LVDT 124
Gambar 135 potensiometer 125
Gambar 136 Potensio *Slider* 126
Gambar 137 Potensio *Rotary* 126
Gambar 138 *Potensio Timer* 127
Gambar 139 Konstruksi Tacho Generator DC 128
Gambar 140 Konstruksi Tacho Generator AC 129
Gambar 141 Konstruksi Tacho Generator AC dengan rotor bergerigi 129
Gambar 142 Lambang sensor cahaya 130
Gambar 143 Penampang solar *cell* 131
Gambar 144 Simbol LDR 131
Gambar 145 Simbol Foto dioda 132
Gambar 146 Foto Transistor 132
Gambar 147 Sensor cahaya Infra *red* 132
Gambar 148 Sensor cahaya Ultraviolet 133
Gambar 149 Simbol Gerbang AND 137
Gambar 150 Transistor Gerbang AND 2 Input 137
Gambar 151 Simbol Gerbang OR 138
Gambar 152 Transistor Gerbang OR 2 Input 138
Gambar 153 Simbol Gerbang NOT 139
Gambar 154 Transistor Gerbang NOT 139
Gambar 155 Simbol Gerbang NAND 140
Gambar 156 Simbol Gerbang NOR 141
Gambar 157 Transistor Gerbang NOR 142
Gambar 158 Simbol Gerbang X-OR 142
Gambar 159 Simbol Gerbang X-NOR 143
Gambar 160 Digital Logic Design 144
Gambar 161 Digital Logic Design 145
Gambar 162 Digital Logic Design 145
Gambar 163 Logical Circuit 146

Gambar 164 Logic.ly 147
Gambar 165 Rangkaian Z = A + (B.C) 148
Gambar 166 Simulasi Z = A + (B.C) Logic.ly 148
Gambar 167 Rangkaian Z = (A+B).C 149
Gambar 168 Rangkaian Z = (A+B).C Logic.ly 149
Gambar 169 Rangkaian Z = (A+B).A' 149
Gambar 170 Rangkaian Z = (A+B).A' Logic.ly 149
Gambar 171 Rangkaian Z = (A.B)+B Logic.ly 150
Gambar 172 Rangkaian F = A+B 151
Gambar 173 Rangkaian F = ABC + A'BC + AB'C 151
Gambar 174 Rangkaian F = A'B'C'D + A'BC'D + A'B'CD 152
Gambar 175 Diagram Blok Sistem Hibrid 157
Gambar 176 Mekanisme sistem 159
Gambar 177 Proses Sampling 160
Gambar 178 Perubahan dari sinyal kontinu ke sinyal diskrit 161
Gambar 179 Blok diagram 161
Gambar 180 Proses Sinyal Suara yang diubah menjadi Sinyal Digital 164
Gambar 181 contoh penggunaan dalam *sound selection* 169
Gambar 182 Konsep digital memonitor dan mengontrol suhu 171
Gambar 183 Proses Pencuplikan 172
Gambar 184 Proses Kuantisasi 172
Gambar 185 Ilustrasi Encoder 174
Gambar 186 Ilustrasi Decoder 176
Gambar 187 Multipekser 176
Gambar 188 Konsep Multiflekser 179
Gambar 189 FDM 180
Gambar 190 Blok diagram Akuisisi Data 185
Gambar 191 Blok diagram SCADA 192
Gambar 192 Animasi SCADA 193
Gambar 193 Mikroprosesor pada Komputer 204
Gambar 194 Mikroprosesor dan Mikrokontroler 206
Gambar 195 Arsitektur mikroprosessor 209
Gambar 196 Konfigurasi pin I/O Z80 211
Gambar 197 Mikroprosesor dan komponen menjadi mikrokomputer 214
Gambar 198 Saluran pada Mikroprosessor 215
Gambar 199 Diagram Koneksi *addres* bus dengan perangkat I/O 216
Gambar 200 Koneksi PROM PC44 220
Gambar 201 Koneksi EPROM 2764 220
Gambar 202 Serial EEPROM AT24C01 221
Gambar 203 contoh RAM 222
Gambar 204 Organisasi Cache Memori 223
Gambar 205 blok struktur modul I/O 231
Gambar 206 IC Mikrokontroler 236

Gambar 207 Striktur Mikrokontroler 240
Gambar 208 PLC modular dari Omron. 253
Gambar 209 PLC berbasis Rak 255
Gambar 210 PLC berbasis Tak 255
Gambar 211 PLC PC 256
Gambar 212 Bagian bagaian PLC 256
Gambar 213 Rangkaian PLC 258
Gambar 214 Rangkaian PLC 263
Gambar 215 Diagram LD NOT dan Kode Mnemonic LD NOT 264
Gambar 216 Diagram Ladder AND dan AND NOT, Kode Mnemonic 265
Gambar 217 Diagram Ladder OR dan OR NOT, Kode Mnemonic 265
Gambar 218 Penyederhanaan Program Logika 266
Gambar 219 Arduino Uno 273
Gambar 220 Arduino Duemilanove 273
Gambar 221 Arduino Leonardo 274
Gambar 222 Arduino Mega 2560 275
Gambar 223 Arduino Nano 275
Gambar 224 Arduino Mega ADK 276
Gambar 225 Interface Arduino IDE 277
Gambar 226 Breadboard 279
Gambar 227 Skema rangkaian Blinking LED 280
Gambar 228 Aplikasi Arduino ke Breadboard 280

Kata Pengantar

Mechatronics yaitu ilmu pengetahuan yang lahir di Jepang, adalah percampuran 2 kata yaitu mechanics dan electronics. dari tahun 1960 an kata mekatronika dipakai dalam kendali komputer untuk motor motor elektrik (Yaskawa Electric Co., Japan); sebenarnya perkembangannya tidak berasal dari robotika, malah robotika lah yang banyak mengadopsi kelebihan teknologi kinematika, dinamika, kendali, teknologi sensor dan pemograman. Lalu tahun 1970 an konsentrasi mekatronika digunakan pada teknologi servo seperti: pembuka pintu otomatis dan kamera kamera autofokus. di tahun 1980 an perkembangan teknologi informasi, para insinyur mulai menggabungkan mikroprosesor pada sistem mekanik (embedded System) guna meningkatkan unjuk kerja. Pada tahun 1990 pemanfaatan teknologi komunikasi supaya suatu produk dapat terhubung kan pada suatu jaringan yang lebih besar atau luas. Sekarang sering melihat di sekeliling kita barang barang mekatronik seperti robot, mesin bubut NC, kamera digital, printer dan lain sebagainya. Persamaan dari barang-barang mekatronik ini adalah bahwa objek yang dikendalikan adalah gerakan mesin. Jika dibandingkan dengan gerakan mesin konvensional maka gerakan mesin tersebut lebih bersifat fleksibel dan lebih memiliki kecerdasan. Hal ini dimungkinkan karena memanfaatkan kemajuan iptek micro electronics. Berarti, dengan bantuan micro electronics mesin dapat bergerak dengan lebih cerdas. Jika seseorang memberikan sebuah perintah, lalu semua dapat dipasrahkan ke mesin yang dapat bergerak secara otomatis. Ini sangat membantu menciptakan mesin atau alat yang praktis dan mudah digunakan. Sehingga sumber daya pada manusia seperti waktu dan otak dapat dipakai untuk pekerjaan yang lain untuk lebih menciptakan nilai tambah.

– Zufri Hasrudy Siregar

Mekatronika merupakan ilmu pengetahuan yang banyak berbicara tentang teknologi mekanika yang digabung dengan sistem kendali atau kontrol serta juga memahami seluk-beluk elektronika yang diharapkan dapat menjadikan suatu pengetahuan tentang konsep keilmuan yang baru, dimana dengan sudut pandang yang lebih luas dan komprehensif dibanding dengan sudut pandang satu keilmuan saja.

Aplikasi aplikasi yang dibahas pada buku ini merupakan pengembangan dari konsep 3 ilmu tersebut yaitu Mekanika, Informatika dan Elektronika, dimana dalam kurun waktu sekarang hal tersebut menjadikan konsep ilmu tersebut harus memahami hal tersebut. Tidak menutup kemungkinan hal seperti ini akan dikembangkan lagi, seperti Kedokteran, Mekanika dan Lingkungan, atau Mekanika, sosial dan lingkungan.

– *Masdania Zurairah,SR*

– *Mawardi*

Ucapan Terima kasih

Terimakasih saya ucapkan kepada Allah SWT serta Rasulullah S.AW serta Keluarga Sucinya yang menginspirasi penulis dalam berpikir dan bertindak serta berahlak sesama manusia. Juga ucapan Terima kasih Linda Agustina Siregar (Istri) dan Sadra Al Gifari Siregar (Anak) yang memberikan semangat kepada penulis. Tak lupa juga saya mengucapkan Terima kasih kepada Guru saya:

1. Prof. Adhi Susanto,M.Sc.,Ph.D.,
2. Prof. Ir. Panut Mulyono,M.Eng.,D.Eng (Rektor UGM)
3. Associate Prof.Dr-Ing.Ir. Agus Maryono
4. Ir. Supranto, M.Sc.,Ph.D

Yang menjadi inspirasi dan semangat saya untuk selalu berkarya seperti mereka.

Semoga dengan adanya buku ini menjadi khazanah ilmu yang bermanfaat bagi pembaca dan dapat diimplementasikan di masyarakat serta lingkungan sekitar

GSR-Medan

Juli 2020

Pengenalan

Selama beberapa tahun ke depan ilmu akan berkembang sesuai dengan berkembangnya teknologi, tidak bias di pungkiri lagi bahwa teknologi memegang peranan penting dalam perkembangan ilmu dan sosial masyarakat ke depan. Konsep konsep ilmu yang dahulu masih monoton akan tergerus dan akan dipaksa berkembang dengan keinginan pasar dan produk yang akan muncul dengan pesat. Sebagaimana kondisi yang terjadi sekarang, kita dipaksa untuk berinovasi dan mengembangkan konsep pengetahuan yang awalnya *offline* menjadi serba Online, yang awalnya tatap muka menjadi Virtual.

Definisi mekatronika diperkenalkan oleh Yasakawa Electric Company pada tahun 1969, Yasakawa membuat definisi mekatronika dalam 2 definisi, sebagaimana dalam dokumentasi trademark nya yang menyebutkan bahwa kata "Mechatronic adalah gabungan dari kata "*mecha*" dari *Mechanism* dan kata "*tronic*" dari *electronics*, yang artinya teknologi dan pengembangan produk bisa sinergi dengan penggunaan elektronik dan mekanikal yang saling terikat dan ter struktur". Definisi mekatronika kemudian dilanjutkan setelah Yasakawa menyarankan definisi asli. Kita sering mengutip pengertian mekatronika seperti yang telah di paparkan oleh Harashima, Tomizuka dan Fukuda di tahun 1996, dengan arti kaya, definisi mekatronika adalah: "sinergisitas yang saling berhubungan antar ilmu mekanikal dengan elektronika, teknik pengatur & kontrol dalam desing, industri manufaktur juga proses produksi". Pada Saat yang sama definisi mekatronika oleh Auslander dan Kemf yang mendefinisikan " mekatronika adalah aplikasi yang kompleks dalam membuat keputusan dalam operasi sistem mekanikal" lalu definisi lain muncul di tahun 1997 oleh shetty dan kolk yang menyebutkan bahwa " mekatronika adalah suatu metodologi yang digunakan untuk mengoptimalkan desing produk elektro mekanikal", lebih lanjut kita dapat juga menemukan definisi yang diperkenalkan oleh W.Bolton yaitu " sistem mekatronika tidak saja hanya memadukan *electrical* dengan sistem mekanikal dan lebih dari pada sistem kontrol tetapi mekatronika adalah keterpaduan yang

kompleks dari semuanya", Buur (1990) juga telah mendefinisikan nya bahwa " Mekatronika adalah teknologi yang mengombinasikan mekanika dengan elektronik dan teknologi informasi untuk membentuk interaksi fungsi dan keterpaduan ruang dalam komponen, modul, dan sistem produksi Indonesia sendiri Mekatronika di definisikan "mekatronika adalah sinergi IPTEK dari teknik mesin, teknik elektronika, teknik Informatika dan teknik pengaturan yang bermanfaat untuk merancang, membuat/memproduksi, mengoperasikan dan memelihara sebuah sistem agar dicapai tujuan yang diinginkan. Melalui musyawarah Nasional Mekatronika pada tanggal 28 Juli 2008 di Bandung. Secara sempit pengertian mekatronika mengarah pada teknologi kendali numerik yaitu teknologi mengendalikan mekanisme menggunakan aktuator untuk mencapai tujuan tertentu dengan memonitor informasi kondisi gerak mesin menggunakan sensor, dan memasukkan informasi tersebut ke dalam mikro prosesor.

BAB 1

Pengantar Mekatronika

ZUFRI HASRUDY SIREGAR
COGITO ERGO SUM

APA ITU..?

MEKATRONIKA

Sejarah Mekatronika yaitu ilmu pengetahuan yang lahir di Jepang, adalah percampuran 2 kata yaitu *mechanics* dan *electronics*. dari tahun 1960 an kata mekatronika dipakai dalam kendali komputer untuk motor motor elektrik (Yaskawa Electric Co., Japan); sebenarnya perkembangannya tidak berasal dari robotika, malah robotika lah yang banyak mengadopsi kelebihan teknologi kinematika, dinamika, kendali, teknologi sensor dan pemograman. Lalu tahun 1970 an konsentrasi mekatronika digunakan pada teknologi *servo* seperti: pembuka pintu otomatis dan kamera kamera *autofocus*. di tahun 1980 an perkembangan teknologi informasi, para insinyur mulai menggabungkan mikroprosesor pada sistem mekanik (*embedded System*) guna meningkatkan unjuk kerja. Pada tahun 1990 pemanfaatan teknologi komunikasi supaya suatu produk dapat terhubung kan pada suatu jaringan yang lebih besar atau luas. Sekarang sering melihat di sekeliling kita barang barang mekatronik seperti robot, mesin bubut NC, kamera digital, *printer* dan lain sebagainya. Persamaan dari barang barang mekatronik ini adalah bahwa objek yang dikendalikan adalah gerakan mesin. Jika dibandingkan dengan gerakan mesin konvensional maka gerakan mesin tersebut lebih bersifat fleksibel dan lebih memiliki kecerdasan. Hal ini dimungkinkan karena memanfaatkan kemajuan iptek mikro Electronics. Berarti, dengan bantuan mikro Electronics mesin dapat bergerak dengan lebih cerdas. Jika seseorang memberikan sebuah perintah, lalu semua dapat dipasrahkan ke mesin yang dapat bergerak secara otomatis. Ini sangat membantu menciptakan mesin atau alat yang praktis dan mudah digunakan. Sehingga sumber daya pada manusia seperti waktu dan otak dapat dipakai untuk pekerjaan yang lain untuk lebih menciptakan nilai tambah.

Indonesia sendiri Mekatronika di definisikan "mekatronika adalah sinergi IPTEK dari teknik mesin, teknik elektronika, teknik informatika dan teknik pengaturan yang bermanfaat untuk merancang, membuat/memproduksi, mengoperasikan dan

memelihara sebuah sistem agar dicapai tujuan yang diinginkan. Melalui musyawarah Nasional Mekatronika pada tanggal 28 Juli 2008 di Bandung.

Manfaat konsep Mekatronika

Setelah memahami sejarah mekatronika, maka dapat dilihat konsep tersebut sering digunakan dalam kehidupan sehari hari, contoh produk yang dihasilkan dari konsep tersebut yaitu lengan robot dan mesin bubut kontrol numerik. Barang-barang ini dapat melakukan pekerjaan-pekerjaan yang berbeda beda dengan cara merubah program mereka sesuai kondisi yang diminta, karena telah ditambahkan kemampuan kendali aktif yang canggih terhadap mekanisme yang telah ada. Beberapa manfaat penerapan mekatronika adalah sebagai berikut:

Mekatronika adalah: sinergi IPTEK dari teknik mesin, teknik elektronika, teknik informatika dan teknik pengaturan yang bermanfaat untuk merancang, membuat/memproduksi, mengoperasikan dan memelihara sebuah sistem agar dicapai tujuan yang diinginkan

1. Presisi dan kecepatan semakin tinggi

Dengan menerapkan kendali digital dan teknologi elektronika, maka tingkat presisi mesin dan kecepatan gerak mesin dapat diangkat lebih tinggi lagi sampai batas tertentu. Batas ini misalnya adalah *rigiditas* (kekakuan) mesin yang menghalangi kecepatan lebih tinggi karena munculnya getaran.

2. Keandalan semakin baik dan meningkat

Pada mesin-mesin konvensional (manual) muncul berbagai masalah yang diakibatkan oleh berbagai jenis gesekan pada mekanisme yang digunakan seperti: keusangan, masalah sentuhan, getaran dan kebisingan. Pada penggunaan mesin-mesin tersebut diperlukan sarana dan operator yang jumlahnya banyak untuk mencegah timbulnya masalah masalah tersebut. Dengan menerapkan *switch* semikonduktor misalnya, maka masalah masalah akibat hal tersebut dapat diminimalkan sehingga meningkatkan keandalan. Selain itu, dengan menggunakan komponen komponen elektronika untuk mengendalikan gerakan, maka komponen komponen mesin

pengendali gerak bisa dikurangi sehingga meningkatkan keandalan. Dengan menerapkan kendali digital dan teknologi elektronika maka tingkat presisi mesin dan kecepatan gerak mesin dapat lebih baik lagi sampai batas tertentu. Batas ini merupakan **rigiditas mesin** yang menghalangi kecepatan lebih tinggi karena munculnya getaran. Hal ini merupakan tantangan baru untuk menciptakan sistem mesin yang memiliki rigiditas mesin yang menghalangi kecepatan lebih tinggi karena munculnya getaran. Mesin yang memiliki rigiditas tinggi. Struktur mekatronika dapat di klasifikasi kan menjadi 2 konsep yaitu konsep mekanika dan konsep elektronika. Pada konsep mekanika terdapat mekanisme mesin sebagai objek yang dikendalikan, sementara konsep elektronika yaitu beberapa elemen mekatronika yaitu : sensor, *kontroler*, rangkaian penggerak aktuator dan sumber energi.

3. Fleksibilitas semakin baik

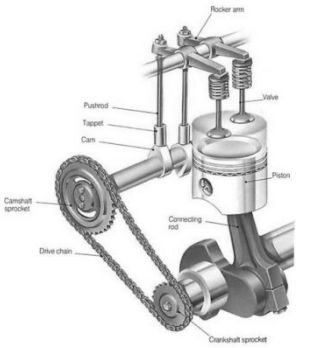
Manfaat terbesar yang dapat diperoleh dari penerapan mekatronik yaitu meningkatkan fleksibilitas mesin dengan menambahkan fungsi-fungsi baru yang mayoritas merupakan kontribusi mikro prosesor. Sebagai contoh, lengan robot industri dapat melakukan berbagai jenis pekerjaan dengan merubah program peranti lunak di mikroprosesor nya seperti halnya lengan manusia. Ini yang menjadi faktor utama dimungkinkannya proses produksi produk yang beraneka ragam tipe nya dengan jumlah yang sedikit sedikit.

Komponen Utama Mekatronika

Sistem mekatronika dapat di klasifikasi kan dalam lima jenis yaitu:
1. *Physical system* modeling (Konsep mekanikal)
2. *Sensors and Actuators* (sensor dan Aktuator)
3. *Signal and system* (Sistem Kontrol)
4. *Computer and Logic system* (*computer* dan *system logic*)
5. *Software and* data *acquisition* (Piranti lunak dan Akuisisi data)

***Physical system* modeling (Konsep mekanikal)**

Ini adalah objek kendali yang bisa berupa lengan robot, mekanisme penggerak otomotif, generator pembangkit listrik dan lain sebagainya.



Gambar 1 Mesin penggerak piston

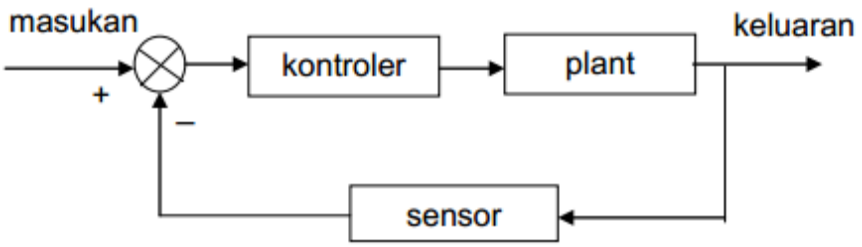
***Sensors and Actuators* (sensor dan Aktuator)**

sensor adalah suatu peralatan yang berfungsi untuk mendeteksi gejala gejala atau sinyal sinyal yang berasal dari perubahan suatu energi seperti energi listrik, energi fisika, energi kimia, energi biologi, energi mekanik dan sebagainya. Sensor itu sendiri terdiri dari transduser dengan atau tanpa penguat/pengolah sinyal yang terbentuk dalam satu sistem pengindra tinggi. **Aktuator** adalah peralatan yang berfungsi mengonversi energi dari energi listrik ke energi mekanik, contoh aktuator ini misalnya motor listrik, tabung hidrolik, tabung pneumatik.

Gambar 2 Sensor Gerak (sensor PIR HC-SR501)

***Signal and system* (Sistem Kontrol)**

adalah elemen yang berfungsi sebagai pengambil keputusan apakah keadaan objek kendali telah sesuai dengan nilai referensi yang diinginkan, dan kemudian memproses informasi untuk menetapkan nilai komando guna merevisi keadaan objek kendali



Gambar 3 Diagram Blok

Bagian sistem kontrol antara lain :

- **Sistem** adalah : kumpulan elemen elemen fisik yang saling terhubung dan membentuk satu kesatuan untuk melaksanakan tujuan tertentu. Contoh nya : tubuh manusia, kendaraan bermotor, pemerintahan.
- **Kontrol :** Kata kontrol di sini dapat diartikan "mengatur." Arti penggunaan kata kontrol dalam mekatronika adalah, "suatu peralatan atau kelompok peralatan yang digunakan untuk mengatur fungsi suatu mesin agar sesuai dengan yang dikehendaki. "Sistem yang mempunyai kemampuan untuk melakukan start, mengatur dan memberhentikan suatu proses untuk mendapatkan *output* yang sesuai dengan yang diinginkan disebut "Sistem Kontrol." Jika sistem kontrol bekerja secara otomatis maka sistem tersebut dinamakan sistem kontrol otomatis. Setiap sistem kontrol mempunyai tiga elemen pokok, yaitu: *input*, proses, dan *output*.
- ***Input*:** merupakan sinyal masukan yang umumnya dihasilkan dari sebuah sensor. Sensor ini adalah suatu alat pengubah (transduser) yang dapat merubah kuantitas (besaran) fisik menjadi kuantitas (besaran) listrik. Sensor sering digunakan untuk pendeteksian saat melakukan pengukuran atau pengendalian.
- ***Output*:** merupakan sinyal keluaran yang dihasilkan dari bagian proses, berupa sinyal listrik yang dipakai untuk mengaktifkan peralatan *output* (aktuator) seperti: motor, solenoid, lampu indikator, *buzzer*, *heater*, katup.
- ***Plant*:** merupakan objek yang di kontrol melalui mekanisme sistem

Macam macam Diagram Blok dan Komponen komponennya

Ada dua bentuk umum sistem kontrol yaitu :
1. Diagram Blok terbuka (*Open Loop Control System*).
2. Diagram Blok tertutup (*Closed Loop Control System*) atau sistem kontrol dengan umpan balik (*Feedback Control System*)

Open Looping System

Sistem kontrol yang pertama sering disebut sistem secara manual, sedangkan yang kedua disebut sistem otomatis. Seperti diperlihatkan pada gambar 4, untuk memudahkan melihat proses pengaturan yang berlangsung dalam sistem kontrol, dibuat diagram blok yang menggambarkan aliran informasi dan komponen yang terlibat dalam sistem kontrol tersebut. Gambar kotak mewakili tiap komponen dalam sistem kontrol, sedangkan aliran informasi diperlihatkan dengan garis dengan tanda anak panah di salah satu ujungnya yang menandakan arah informasi atau data dalam proses pengaturan tersebut.

Gambar 4 Diagram Blok terbuka

Pada sistem terbuka, keluaran tidak dapat di bandingkan dengan masukan acuan. Sehingga untuk setiap masukan acuan berhubungan dengan operasi tertentu, sebagai akibat ketetapan dari sistem tergantung kalibrasi. Dengan adanya gangguan, sistem kontrol terbuka tidak dapat melaksanakan tugas yang sesuai diharapkan. Sistem kontrol terbuka dapat digunakan hanya jika hubungan antara masukan dan keluaran diketahui dan tidak terdapat gangguan internal maupun eksternal.
Karakteristik Sistem / *Loop* Terbuka :
1. Sederhana
2. Harganya murah
3. Dapat dipercaya
4. Kurang akurat karena tidak terdapat koreksi terhadap kesalahan
5. Berbasis waktu

Contoh Aplikasi Sistem *Loop* Terbuka :
1. Pengontrol lalu lintas berbasis waktu
2. Mesin cuci
3. Oven listrik
4. Tangga berjalan
5. *Rolling detector* pada bandara

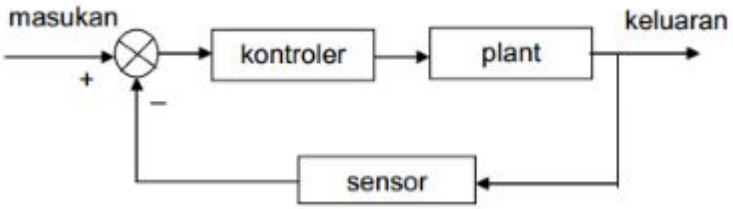
Gambar 5 Sepeda Motor

Penjelasan gambar

Input berupa kedalaman gas pada stang motor, *input* dikendalikan oleh manusia, proses/*plant* berupa mekanisme motor bakar, *output* berupa gerak roda. Di sini tidak ada *feed back* jadi, kita tidak tahu apakah terjadi *error* antara *input* yang berupa gas pada stang dan juga per putaran gerak roda.

Close Looping System

Sistem Kontrol *loop* tertutup adalah sistem kontrol yang sinyal keluaran nya mempunyai pengaruh langsung pada aksi pengontrolan. Sistem kontrol *loop* tertutup juga merupakan sistem kontrol umpan balik. Sinyal kesalahan penggerak, yang merupakan selisih antara sinyal masukan dan sinyal umpan balik (yang dapat berupa sinyal keluaran atau suatu fungsi sinyal keluaran atau turunannya). Diumpankan ke kontroler untuk memperkecil kesalahan dan membuat agar keluaran sistem mendekati harga yang diinginkan. Dengan kata lain, istilah "*loop* tertutup" berarti menggunakan aksi umpan balik untuk memperkecil kesalahan sistem.



Gambar 6 Diagram Blok tertutup

Gambar diatas menunjukkan hubungan masukan dan keluaran dari sistem *loop* tertutup. Jika dalam hal ini manusia bekerja sebagai operator, maka manusia ini akan menjaga sistem agar tetap pada keadaan yang diinginkan, ketika terjadi perubahan pada sistem maka manusia akan melakukan langkah-langkah awal pengaturan sehingga sistem kembali bekerja pada keadaan yang diinginkan.

Berikut ini adalah komponen pada sistem kendali tertutup:

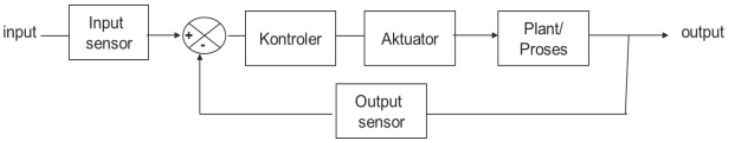
1. *Input* (masukan), merupakan rangsangan yang diberikan pada sistem kontrol, merupakan harga yang diinginkan bagi variabel yang di kontrol selama pengontrolan. Harga ini tidak tergantung pada keluaran sistem
2. *Output* (keluaran, respons), merupakan tanggapan pada sistem kontrol, merupakan harga yang akan dipertahankan bagi variabel yang di kontrol, dan merupakan harga yang ditunjukkan oleh alat pencatat
3. Beban/*Plant*, merupakan sistem fisis yang akan di kontrol (misalnya mekanis, elektris, hidrolik atau pun *pneumatic*) .
4. Alat kontrol/*controller*, merupakan peralatan/ rangkaian untuk mengontrol beban (sistem). Alat ini bisa digabung dengan penguat
5. Elemen Umpan Balik, menunjukkan/mengembalikan hasil pencatatan ke detektor sehingga bisa dibandingkan terhadap harga yang diinginkan (di atur)
6. *Error Detector* (alat deteksi kesalahan), merupakan alat pendeteksi kesalahan yang menunjukkan selisih antara *input* (masukan) dan respons melalui umpan balik (*feedback path*)
7. Gangguan merupakan sinyal-sinyal tambahan yang tidak diinginkan. Gangguan ini cenderung mengakibatkan harga keluaran berbeda dengan harga masukan nya, gangguan ini biasanya disebabkan oleh perubahan beban sistem, misalnya

adanya perubahan kondisi lingkungan, getaran atau pun yang lain.

Contoh aplikasi sistem kendali tertutup:

1. *Servo mekanisme*
2. Sistem pengontrol proses
3. Lemari Es
4. Pemanas Air Otomatik
5. Kendali Termostatik
6. AC

Gambar 7 AC inverter



Gambar 8 Diagram Blok *Close Looping*

Automatic System

Sistem otomatis adalah suatu sistem yang bekerja secara otomatis tanpa harus dikendalikan oleh sesuatu. Juga dapat di definisikan sebagai suatu teknologi yang berkaitan dengan aplikasi mekanik, elektronik dan sistem yang berbasis komputer (komputer, PLC atau mikro). Semuanya bergabung menjadi satu untuk memberikan fungsi terhadap manipulator Elemen dasar sistem otomasi. Terdapat tiga elemen dasar yang menjadi syarat mutlak bagi sistem otomasi, yaitu *Power, program of instruction*, kontrol sistem yang ke semuanya untuk mendukung proses dari sistem otomasi tersebut.

1. Power

Power atau bisa dikatakan sumber energi dari sistem otomasi berfungsi untuk menggerakkan semua komponen dari sistem otomasi. Sumber energi bisa menggunakan energi listrik, baterai, atau pun Accu, semuanya tergantung dari tipe sistem otomasi itu sendiri.

2. *Program of instruction*

Proses kerja dari sistem otomasi mutlak memerlukan sistem kontrol baik menggunakan mekanis, elektronik atau pun komputer. Untuk program instruksi / perintah pada sistem kontrol mekanis maupun rangkaian elektronik tidak menggunakan bahasa pemograman dalam arti sesungguhnya, karena sifatnya yang analog. Untuk sistem kontrol yang menggunakan komputer dan keluarganya (PLC maupun *microcontroller*) bahasa pemograman merupakan hal yang wajib ada.

3. Sistem kontrol

Sistem kontrol merupakan bagian penting dalam sistem otomasi. Apabila suatu sistem otomasi dikatakan layaknya semua organ tubuh manusia seutuhnya maka sistem kontrol merupakan bagian otak / pikiran, yang mengatur dari keseluruhan gerak tubuh. Sistem kontrol dapat tersusun dari komputer, rangkaian elektronik sederhana, peralatan mekanik. Hanya saja penggunaan rangkaian elektronik, peralatan mekanik mulai ditinggalkan dan lebih mengedepankan sistem kontrol dengan penggunaan komputer dan keluarganya (PLC, *microcontroller*).
Sistem kontrol sederhana dapat ditemukan dari berbagai macam peralatan yang kita jumpai, diantaranya

- Setiap toilet memiliki mekanisme kontrol untuk mengisi ulang tangki air dengan pengisian sesuai dengan kapasitas dari tangki tersebut. Mekanisme sistem kontrol tersebut menggunakan peralatan mekanis yang disusun sedemikian rupa sehingga membentuk sistem otomasi.
- AC atau air *conditioner* merupakan sistem otomasi yang menggunakan sistem kontrol mikro elektronik atau yang sering disebut komputer sederhana.
- Robot *assembly* contoh sistem otomasi yang menggunakan kontrol sistem komputer atau keluarganya. Sistem kontrol tersebut akan memberikan pengaturan pada gerakan-gerakan tertentu untuk menyusun suatu peralatan pada industri mekanik) sehingga akan memiliki fungsi tertentu.

Bahan diskusi dan Tugas

1. Jelaskan apa yang anda ketahui tentang konsep Mekatronika.!
2. Jelaskan perbedaan konsep Open *Looping* dan *Close Looping*!
3. Jelaskan komponen utama Mekatronika!
4. Jelaskan dan gambarkan diagram blok dari aplikasi Mekatronika seperti Motor, Ac dan Mesin cuci!
5. Gambarkan dan klasifikasi kan berdasarkan aplikasi Mekatronika dengan karakteristik *close* dan *open looping*!

BAB 2

Konsep Mekanika

ZUFRI HASRUDY SIREGAR
COGITO ERGO SUM

MEKANIKA

Mekanika mempelajari keadaan gerak dari suatu sistem fisis (benda). Mekanika dapat dipecah menjadi dua berdasarkan ada atau tidaknya gaya yang bekerja pada sistem yaitu :Kinematika dan Dinamika. Besar besaran fisis yang menggambarkan keadaan gerak dari suatu benda (partikel, sistem partikel) secara umum dapat diwakili oleh koordinat posisi, kecepatan, percepatan, momentum. Lebih lanjut formulasi persamaan gerak dalam sistem gerak dapat ditelaah berdasarkan mekanika *Newtonian*, Mekanika Lagrangian atau Mekanika *Hamiltonian*. Dalam hal ini akan membahas transmisi, kinematika dan pneumatik hidrolika.

Transmisi Mekanik

Transmisi daya adalah usaha untuk menyalurkan/memindahkan daya dari sumber daya (motor diesel, bensin, turbin gas, motor listrik) ke mesin yang membutuhkan daya (mesin bubut, pompa, kompresor, mesin produksi).beberapa cara yang digunakan untuk transmisi daya Sistem transmisi, dalam otomotif, adalah sistem yang menjadi pengantar energi dari mesin ke diferensial dan as. Dengan memutar as, roda dapat berputar dan menggerakkan mobil.

Gambar 9 Transmisi

Transmisi diperlukan karena mesin pembakaran yang umumnya digunakan dalam mobil merupakan mesin pembakaran internal

yang menghasilkan putaran (rotasi) antara 600 sampai 6000 r.p.m. Sedangkan, roda berputar antara 0 sampai 2500 r.p.m. Sekarang ini, terdapat dua sistem transmisi yang umum, yaitu transmisi manual dan transmisi otomatis. Terdapat juga sistem-sistem transmisi yang merupakan gabungan antara kedua sistem tersebut, namun ini merupakan perkembangan terakhir yang baru dapat ditemukan pada mobil-mobil berteknologi tinggi. Transmisi manual merupakan salah satu jenis transmisi yang banyak dipergunakan dengan alasan perawatan yang lebih mudah. Biasanya pada transmisi manual terdiri dari 3 sampai dengan 7 *speed*. Transmisi semi otomatis adalah transmisi yang dapat membuat kita dapat merasakan sistem transmisi manual atau otomatis, bila kita sedang menggunakan sistem transmisi manual kita tidak perlu menginjak pedal kopling karena pada sistem transmisi ini pedal kopling sudah teratur secara otomatis. Transmisi otomatis terdiri dari 3 bagian utama, yaitu : *Torque converter*, *Planetary gear* unit, dan Hidraulik kontrol unit. *Torque converter* berfungsi sebagai kopling otomatis dan dapat memperbesar momen mesin. Sedangkan *Torque converter* terdiri dari *Pump impeller*, *Turbine runner*, dan Stator. Stator terletak di antara *impeller* dan turbin. *Torque converter* diisi dengan ATF (*Automatic Transmition Fluid*). Momen mesin dipindahkan dengan adanya aliran *fluida*.

Fungsi Transmisi Manual

- Merubah dan mengatur Momen putar dan putaran pada roda penggerak sesuai dengan kebutuhan (posisi 1, 2, 3… n)
- Memungkinkan kendaraan berhenti meski pun mesin dalam keadaan hidup (Posisi Netral)
- Memungkinkan kendaraan berjalan mundur (posisi R / mundur)

Roda Gigi

Roda gigi adalah bagian dari mesin yang berputar untuk mentransmisikan daya. Roda gigi memiliki gigi-gigi yang saling bersinggungan dengan gigi dari roda gigi yang lain. Dua atau lebih roda gigi yang bersinggungan dan bekerja bersama-sama disebut sebagai transmisi roda gigi, dan bisa menghasilkan keuntungan mekanis melalui rasio jumlah gigi. Roda gigi mampu mengubah kecepatan putar, torsi, dan arah daya terhadap sumber daya. Tidak semua roda gigi berhubungan dengan roda gigi yang lain; salah satu

kasusnya adalah pasangan roda gigi dan pinion yang bersumber dari atau menghasilkan gaya translasi, bukan gaya rotasi.

Transmisi roda gigi analog dengan transmisi sabuk dan puli. Keuntungan transmisi roda gigi terhadap sabuk dan puli adalah keberadaan gigi yang mampu mencegah slip, dan daya yang di transmisikan lebih besar. Namun, roda gigi tidak bisa mentransmisikan daya sejauh yang bisa dilakukan sistem transmisi roda dan puli kecuali ada banyak roda gigi yang terlibat di dalamnya. Ketika dua roda gigi dengan jumlah gigi yang tidak sama dikombinasikan, keuntungan mekanis bisa didapatkan, baik itu kecepatan putar maupun torsi, yang bisa dihitung dengan persamaan yang sederhana. Roda gigi dengan jumlah gigi yang lebih besar berperan dalam mengurangi kecepatan putar namun meningkatkan torsi. Rasio kecepatan yang teliti berdasarkan jumlah giginya merupakan keistimewaan dari roda gigi yang mengalahkan mekanisme transmisi yang lain (misal sabuk dan puli). Mesin yang presisi seperti jam tangan mengambil banyak manfaat dari rasio kecepatan putar yang tepat ini. Dalam kasus di mana sumber daya dan beban berdekatan, roda gigi memiliki kelebihan karena mampu di desain dalam ukuran kecil. Kekurangan dari roda gigi adalah biaya pembuatan nya yang lebih mahal dan dibutuhkan pelumasan yang menjadikan biaya operasi lebih tinggi. Ilmuwan Yunani Kuno Archimedes pertama kali mengembangkan roda gigi dalam ilmu mekanika di sekolah aleksandria pada abad ketiga sebelum Masehi. Mekanisme Antikythera adalah contoh aplikasi roda gigi yang rumit yang pertama, yang di desain untuk menghitung posisi astronomi. Waktu pengerjaan mekanisme ini diperkirakan antara 150 dan 100 SM. Faktor bentuk yang penting dari sebuah roda gigi adalah *Pitch* dan sudut tekan. Soal sudut tekan akan di bahas lebih lanjut dalam mata kuliah elemen mesin, tapi untuk *pitch* adalah sebuah konsep sederhana:

***Gear pitch* (*modulus*) = jumlah gigi / diameter *pitch* (dlm mm)**

Dalam SI unit *gear* biasanya dikenal dengan *modulus* sebagai nama lain dari *Pitch*, tetapi konsep nya sama yaitu jumlah gigi dibagi dengan diameter *pitch*.

Diameter *Pitch*

Lihatlah bagaimana gigi-gigi berinteraksi, mereka tidak hanya berinteraksi pada ujung-ujung sentuhan gigi, maka diameter luar tidak begitu menarik, sama dengan *root* diameter (diameter

seberang gigi bawah), apa kegunaannya dimana kontak antara dua gigi-gigi terjadi dapat dilihat pada gambar

Gambar 10 Roda Gigi

Kinematika

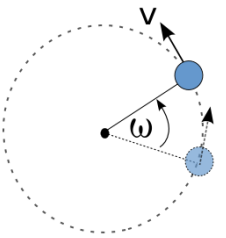
kinematika adalah cabang dari mekanika klasik yang membahas gerak benda dan sistem benda tanpa mempersoalkan gaya penyebab Gerakan. Kata kinematika dicetuskan oleh fisikawan Prancis A.M. *Ampère cinématique* yang ia ambil dari Yunani Kuno, kinema (gerak), diturunkan dari *kinein*. Hal terakhir ini berbeda dari dinamika atau sering disebut dengan Kinetika, yang mempersoalkan gaya yang memengaruhi gerakan. Hal terakhir ini berbeda dari dinamika, yang mempersoalkan gaya yang dipengaruhi oleh gerakan. Setiap hari kita selalu melihat sepeda motor, mobil, pesawat atau kendaraan beroda lainnya.

Besaran-Besaran Fisis dalam Gerak Melingkar (Perpindahan Sudut, Kecepatan sudut dan Percepatan Sudut) Dalam gerak lurus kita mengenal tiga besaran utama yaitu perpindahan (linear), kecepatan (linear) dan Percepatan (linear). Gerak melingkar juga memiliki tiga komponen tersebut, yaitu perpindahan sudut, kecepatan sudut dan percepatan sudut. Pada gerak lurus kita juga mengenal Gerak Lurus Beraturan dan Gerak Lurus Berubah Beraturan. Dalam gerak melingkar juga terdapat Gerak Melingkar Beraturan (GMB) dan Gerak Melingkar Berubah Beraturan (GMBB). Selengkapnya akan kita bahas satu persatu. Sekarang mari kita berkenalan dengan besaran-besaran dalam gerak melingkar dan melihat hubungannya dengan besaran fisis gerak lurus. Pada Benda yang Bergerak Melingkar Beraturan Dari modul ”Kinematika Gerak Lurus” Anda telah mempelajari bahwa benda yang bergerak melingkar beraturan memiliki percepatan sentripetal (as) yang besarnya :

$$as = \frac{V^2}{R} = \omega^2 . R$$

Dimana :
V= Kecepatan Linier
ω = Kecepatan Sudut (Omega)
R = jari jari lintasan

Untuk itu perhatikan gambar di bawah ini



Gambar 11 Perubahan kecepatan pada benda

Sesuai dengan Hukum II Newton, percepatan sentripetal as disebabkan oleh gaya yang searah dengan as. Gaya ini dinamakan gaya sentripetal (Fs).

$$SF = m. a_s$$

Dimana SF = Fs adalah gaya sentripetal di tuliskan ialah :

$$as = \frac{V^2}{R} = \omega^2 . R$$

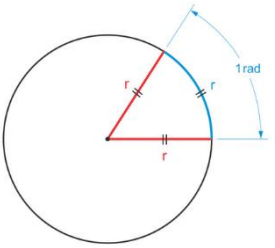
Dari persamaan ini terlihat bahwa besarnya gaya sentripetal bergantung pada :
m = massa benda (kg)
V = kecepatan linier (m/s)
ω = kecepatan sudut (rad/s)
R = jari-jari lintasan, (m)
Gaya sentripetal, Fs berperan mempertahankan benda bergerak melingkar beraturan agar tetap pada lintasan nya.

Perpindahan Sudut

Dapat dilihat contoh gerak melingkar, misalnya gerak roda kendaraan yang berputar. Ketika roda berputar, tampak bahwa selain poros alias pusat roda, bagian lain roda lain selalu berpindah terhadap pusat roda sebagai kerangka acuan. Perpindahan pada

gerak melingkar disebut perpindahan sudut. untuk mengukur perpindahan sudut dapat dilakukan dengan tiga cara:

1. Menghitung sudut dalam derajat (^{0}). Satu lingkaran penuh sama dengan 360^0
2. Mengukur sudut dalam putaran. Satu lingkaran penuh sama dengan satu putaran. Dengan demikian, satu putaran = 360^0
3. Dengan radian, radian adalah satuan Sistem Internasional (SI) untuk perpindahan sudut, sehingga satuan ini akan sering di gunakan dalam perhitungan.



Gambar 12 Derajat dan Radian

Nilai radian dalam sudut adalah perbandingan antara jarak linear x dengan jari-jari roda r, sehingga

$$\theta\ (rad) = \frac{x}{y}$$

Jadi untuk satu putaran sama dengan keliling lingkaran, sehingga dari persamaan di atas, diperoleh :

$$\theta\ (rad) = \frac{2\pi\ r}{r} = 2\pi\ rad$$

Konversi dalam sudut yang diketahui yaitu :

$$1\ putaran = 360° = 2\pi\ rad$$
$$1\ rad = \frac{180}{\pi}\ derajat = 57{,}3°$$

Derajat, putaran dan radian adalah besaran yang tidak memiliki dimensi. Jadi, jika ketiga satuan ini terlibat dalam suatu perhitungan, ketiganya tidak mengubah satuan yang lain.

Kecepatan Sudut

Pada gerak lurus, kecepatan gerak benda umumnya dinyatakan dengan satuan Km/jam atau m/s. Telah diketahui bahwa setiap bagian yang berbeda pada benda yang melakukan gerak lurus memiliki kecepatan yang sama, misalnya bagian depan mobil mempunyai kecepatan yang sama dengan bagian belakang mobil yang bergerak lurus. Pada gerak melingkar, bagian yang berbeda mempunyai kecepatan yang tidak sama. Contoh pada gerak roda yang sedang berputar. Pada roda yang terdekat dengan poros yang bergerak pada kecepatan linear yang lebih kecil, sementara bagian yang terjauh dari poros atau pusat roda bergerak dengan kecepatan linear yang lebih besar. Oleh karena itu, bila berpendapat roda bergerak melingkar dengan kelajuan 10 m/s maka hal itu tidak berarti, namun bisa diartikan tepi roda bergerak dengan kelajuan 10 m/s. Pada gerak melingkar, kelajuan rotasi benda dinyatakan dengan putaran per menit (biasa disingkat r.p.m. *revolution* per *minute*). Kelajuan yang dinyatakan dengan satuan r.p.m. adalah kelajuan sudut. Dalam gerak melingkar, kita juga dapat menyatakan arah putaran. Misalnya kita menggunakan arah putaran jarum jam sebagai patokan. sehingga dapat dikatakan kecepatan sudut, di mana selain menyatakan kelajuan sudut, juga menyatakan arah nya (ingat perbedaan kelajuan dan kecepatan, mengenai hal ini sudah diterangkan pada pokok bahasan kinematika). Jika kecepatan pada gerak lurus disebut kecepatan linear (benda bergerak pada lintasan lurus), maka kecepatan pada gerak melingkar disebut kecepatan sudut, karena benda bergerak melalui sudut tertentu. Terdapat dua jenis kecepatan pada Gerak Lurus, yakni kecepatan rata rata dan kecepatan sesaat. Kita dapat mengetahui kecepatan rata rata pada Gerak Lurus dengan membandingkan besarnya perpindahan yang ditempuh oleh benda dan waktu yang dibutuhkan benda untuk bergerak. Pada gerak melingkar, kita dapat menghitung kecepatan sudut rata rata dengan membandingkan perpindahan sudut dengan selang waktu yang dibutuhkan ketika benda berputar. Secara matematis dapat ditulis : Kecepatan sudut rata-rata = perpindahan sudut/selang waktu

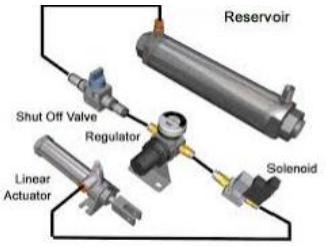
$$\omega = \frac{\Delta\, \partial}{\Delta t} = \frac{\partial_2 - \partial_1}{t_2 - t_1}$$

Untuk kecepatan sudut sesaat yaitu diperoleh dengan membandingkan perpindahan sudut dengan selang waktu yang sangat singkat. Secara matematis ditulis

$$\omega = \frac{\Delta\theta}{\Delta t}$$

Pneumatik

Istilah pneumatik berasal dari bahasa Yunani, yaitu '*pneuma*' yang berarti napas atau udara. Istilah pneumatik selalu berhubungan dengan teknik penggunaan udara bertekanan, baik tekanan di atas 1 atmosfer maupun tekanan di bawah 1 atmosfer (vakum). Sehingga pneumatik merupakan ilmu yang mempelajari teknik pemakaian udara bertekanan (udara kempa). Jaman dahulu kebanyakan orang sering menggunakan udara bertekanan untuk berbagai keperluan yang masih terbatas, antara lain menambah tekanan udara ban mobil/motor, melepaskan ban mobil dari velgnya, membersihkan kotoran, dan sejenisnya. Sekarang, sistem pneumatik memiliki aplikasi yang luas karena udara pneumatik bersih dan mudah didapat. Banyak industri yang menggunakan sistem pneumatik dalam proses produksi seperti industri makanan, industri obat obatan, industri pengepakan barang maupun industri yang lain. Belajar pneumatik sangat bermanfaat mengingat hampir semua industri sekarang memanfaatkan sistem pneumatik.



Gambar 13 Pneumatik

Prinsip Kerja Pneumatik

Dengan memberikan udara bertekanan pada satu sisi permukaan piston (arah maju) , sedangkan sisi yang lain (arah mundur) terbuka ke atmosfer, maka gaya diberikan pada sisi permukaan piston tersebut sehingga batang piston akan terdorong keluar sampai mencapai posisi maksimum dan berhenti. Gerakan silinder kembali masuk, diberikan oleh gaya pada sisi permukaan batang piston (arah mundur) dan sisi permukaan piston (arah maju) udaranya

terbuka ke atmosfer. Keuntungan silinder kerja ganda dapat dibebani pada kedua arah gerakan batang piston nya. Ini memungkinkan pemasangannya lebih fleksibel. Gaya yang diberikan pada batang piston gerakan keluar lebih besar daripada gerakan masuk. Karena efektif permukaan piston dikurangi pada sisi batang piston oleh luas permukaan batang piston Silinder aktif adalah di bawah kontrol suplai udara pada kedua arah gerakannya. Pada prinsipnya panjang langkah silinder dibatasi, walaupun faktor lengkungan dan bengkok kan yang diterima batang piston harus diperbolehkan. Seperti silinder kerja tunggal, pada silinder kerja ganda piston dipasang dengan *seal* jenis cincin O atau membran.

Aplikasi Pneumatik

Penggunaan udara bertekanan sebenarnya masih dapat dikembangkan untuk berbagai keperluan proses produksi, misalnya untuk melakukan gerakan mekanik yang selama ini dilakukan oleh tenaga manusia, seperti menggeser, mendorong, mengangkat, menekan, dan lain sebagainya. Gerakan mekanik tersebut dapat dilakukan juga oleh komponen pneumatik, seperti silinder pneumatik, motor pneumatik, robot pneumatik translasi, rotasi maupun gabungan keduanya. Perpaduan dari gerakan mekanik oleh aktuator pneumatik dapat di padu menjadi gerakan mekanik untuk keperluan proses produksi yang terus menerus (*continue*), dan *flexible*. Pemakaian pneumatik di bidang produksi telah mengalami kemajuan yang pesat, terutama pada proses perakitan (*manufacturing*), elektronika, obat obatan, makanan, kimia dan lainnya. Pemilihan penggunaan udara bertekanan (*pneumatik*) sebagai sistem kontrol dalam proses otomasi nya, karena pneumatik mempunyai beberapa keunggulan, antara lain: mudah diperoleh, bersih dari kotoran dan zat kimia yang merusak, mudah di distribusikan melalui saluran (selang) yang kecil, aman dari bahaya ledakan dan hubungan singkat, dapat dibebani lebih, tidak peka terhadap perubahan suhu dan sebagainya. Udara yang digunakan dalam pneumatik sangat mudah didapat/diperoleh di sekitar kita. Udara dapat diperoleh dimana saja kita berada, serta tersedia dalam jumlah banyak. Selain itu udara yang terdapat di sekitar kita cenderung bersih dari kotoran dan zat kimia yang merugikan. Udara juga dapat dibebani lebih tanpa menimbulkan bahaya yang fatal. Karena tahan terhadap perubahan suhu, maka pneumatik banyak digunakan pula pada industri pengolahan logam dan

sejenisnya. Secara umum udara yang di hisap oleh kompresor, akan disimpan dalam suatu tabung penampung. Sebelum digunakan udara dari kompresor diolah agar menjadi kering, dan mengandung sedikit pelumas. Setelah melalui regulator udara dapat digunakan menggerakkan katup penggerak (aktuator), baik berupa silinder/stang torak yang bergerak translasi, maupun motor pneumatik yang bergerak rotasi. Gerakan bolak balik (translasi), dan berputar (rotasi) pada aktuator selanjutnya digunakan untuk berbagai keperluan gerakan yang selama ini dilakukan oleh manusia atau peralatan lain.

Kelebihan Pneumatik

Penggunaan sistem pneumatik memiliki beberapa keuntungan antara lain dapat dijabarkan sebagai berikut:

- Ketersediaan yang tak terbatas, udara tersedia di alam sekitar kita dalam jumlah yang tanpa batas sepanjang waktu dan tempat
- Mudah disalurkan, udara mudah disalurkan/pindahkan dari satu tempat ke tempat lain melalui pipa yang kecil, panjang dan berliku
- Fleksibilitas temperatur, udara dapat fleksibel digunakan pada berbagai temperatur yang diperlukan, melalui peralatan yang dirancang untuk keadaan tertentu, bahkan dalam kondisi yang agak ekstrem udara masih dapat bekerja
- Aman, udara dapat dibebani lebih dengan aman selain itu tidak mudah terbakar dan tidak terjadi hubungan singkat (korsleting) atau meledak sehingga proteksi terhadap kedua hal ini cukup mudah, berbeda dengan sistem elektrik yang dapat menimbulkan korsleting hingga kebakaran
- Bersih, udara yang ada di sekitar kita cenderung bersih tanpa zat kimia yang berbahaya dengan jumlah kandungan pelumas yang dapat diminimalkan sehingga sistem pneumatik aman digunakan untuk industri obat-obatan, makanan, dan minuman maupun tekstil
- Pemindahan daya dan Kecepatan sangat mudah diatur. udara dapat melaju dengan kecepatan yang dapat diatur dari rendah hingga tinggi atau sebaliknya. Bila aktuator menggunakan silinder pneumatik, maka kecepatan torak dapat mencapai 3 m/s. Bagi motor pneumatik putarannya dapat mencapai 30.000 r.p.m., sedangkan sistem motor turbin dapat mencapai 450.000 r.p.m.

- Dapat disimpan, udara dapat disimpan melalui tabung yang diberi pengaman terhadap kelebihan tekanan udara. Selain itu dapat dipasang pembatas tekanan atau pengaman sehingga sistem menjadi aman
- Mudah dimanfaatkan, udara mudah dimanfaatkan baik secara langsung misal untuk membersihkan permukaan logam dan mesin-mesin, maupun tidak langsung, yaitu melalui peralatan pneumatik untuk menghasilkan gerakan tertentu.

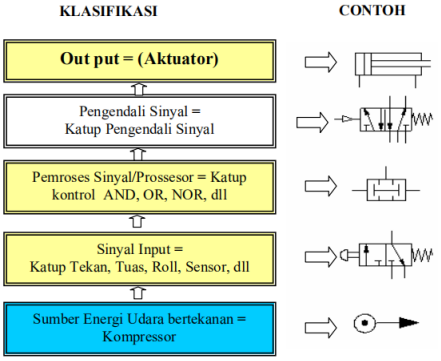
Kekurangan Pneumatik

Selain memiliki kelebihan , pneumatik juga memiliki beberapa kekurangan antara lain:

- Membutuhkan instalasi peralatan yang menghasilkan udara. Udara kempa mesti dibuat secara benar, sesuai syarat. memenuhi kriteria tertentu, contohnya kering, bersih, serta mengandung pelumas yang diperlukan untuk peralatan pneumatik. Sehingga sistem pneumatik memerlukan instalasi peralatan yang cukup mahal, seperti kompresor, penyaring udara, tabung pelumas, pengering, regulator dan sebagainya
- Mudah terjadi kebocoran, Salah satu sifat udara bertekanan adalah ingin selalu menempati ruang yang kosong dan tekanan udara susah dipertahankan dalam waktu bekerja. Oleh karena itu diperlukan *seal* agar udara tidak bocor. Kebocoran *seal* dapat menimbulkan kerugian energi. Peralatan pneumatik harus dilengkapi dengan peralatan kekedapan udara agar kebocoran pada sistem udara bertekanan dapat ditekan seminimal mungkin
- Menimbulkan suara bising, Pneumatik menggunakan sistem terbuka, maksudnya udara yang telah digunakan akan dibuang ke luar sistem, udara yang keluar cukup keras dan berisik sehingga akan menimbulkan suara bising terutama pada saluran buang. Cara mengatasinya adalah dengan memasang peredam suara pada setiap saluran buang nya
- Mudah Mengembun, Udara yang bertekanan mudah mengembun, sehingga sebelum memasuki sistem harus diolah terlebih dahulu agar memenuhi persyaratan tertentu, misal kering, memiliki tekanan yang cukup, dan mengandung sedikit pelumas agar mengurangi gesekan pada katup-katup dan aktuator.

Klasifikasi sistem Pneumatik

Sistem elemen pada pneumatik memiliki bagian bagian yang mempunyai fungsi berbeda. Secara garis besar sistem elemen pada pneumatik dapat digambarkan pada skema berikut :

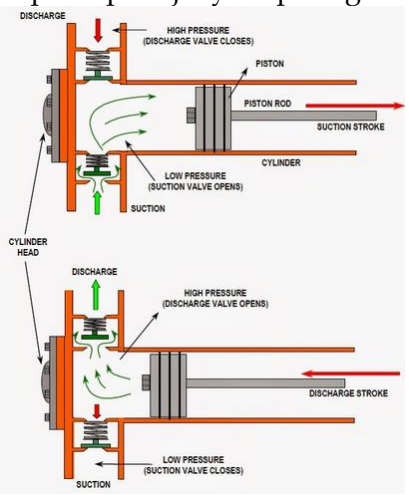


Gambar 14 Klasifikasi Elemen Sistem Pneumatik (FESTO *Fluid* SIM)

Komponen sistem Pneumatik

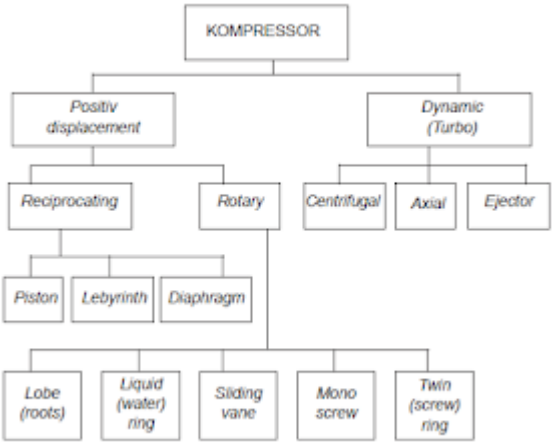
1. *Kompresor (Pembangkit udara Kempa)*
   Kompresor berfungsi untuk membangkitkan/menghasilkan udara bertekanan dengan cara menghisap dan memampatkan udara tersebut kemudian disimpan di dalam tangki udara kempa untuk di suplai kepada pemakai (sistem pneumatik). Secara umum biasanya mengisap udara dari atmosfer, yang secara fisika merupakan campuran beberapa gas dengan susunan 78% Nitrogen, 21% Oksigen dan 1% Campuran Argon, Carbon Dioksida, Uap Air, Minyak, dan lainnya. Kompresor dilengkapi dengan tabung untuk menyimpan udara bertekanan, sehingga udara dapat mencapai jumlah dan tekanan yang diperlukan. Tabung udara bertekanan pada kompresor dilengkapi dengan katup pengaman, bila tekanan udaranya melebihi ketentuan, maka katup pengaman akan terbuka secara otomatis. Pemilihan jenis kompresor yang digunakan tergantung dari syarat syarat pemakaian yang harus dipenuhi misalnya dengan tekanan kerja dan volume udara yang akan diperlukan dalam sistem peralatan (katup dan silinder pneumatik). Namun ada juga kompresor yang mengisap udara/ gas dengan tekanan lebih tinggi dari tekanan atmosfer dan biasa

disebut penguat (*booster*). Sebaliknya ada pula kompresor yang menghisap udara/ gas bertekanan lebih rendah dari tekanan atmosfer dan biasanya disebut pompa vakum. Jika suatu gas/ udara di dalam sebuah ruangan tertutup diperkecil volume nya, maka gas/ udara tersebut akan mengalami kompresi. Kompresor yang menggunakan asas ini disebut kompresor jenis *displacement* dan prinsip kerjanya seperti gambar di bawah ini



Gambar 15 Kompresi Fluida

Di sini digunakan torak yang bergerak bolak balik oleh sebuah penggerak mula (*prime mover*) di dalam sebuah silinder untuk menghisap, menekan dan mengeluarkan udara secara berulang ulang. Dalam hal ini udara tidak boleh bocor melalui celah antara dinding torak dengan dinding silinder yang saling bergesekan. Untuk itu digunakan cincin torak sebagai perapat. Jika torak ditarik ke atas, tekanan dalam silinder di bawah torak akan menjadi negatif (kecil dari tekanan atmosfer) sehingga udara akan masuk melalui celah katup isap. Kemudian bila torak ditekan ke bawah, volume udara yang terkurung di bawah torak akan mengecil sehingga tekanan akan naik. Berdasarkan prinsip kerjanya, kompresor terdiri dari 2 (dua) jenis yaitu *Displacement* (torak) seperti dijelaskan diatas dan Dynamics (*rotary*) yang mengalirkan udara melalui putaran sudu berkecepatan tinggi. Secara garis besar kompresor dapat diklasifikasikan menjadi dua bagian, yaitu *Positive Displacement compressor*, dan *Dynamic* kompresor, (*Turbo*), *Positive Displacement compressor*, terdiri dari *Reciprocating* dan *Rotary*, sedangkan *Dynamic compressor*, (*turbo*) terdiri dari *Centrifugal*, *axial* dan ejektor, secara lengkap dapat dilihat dari klasifikasi di bawah ini:



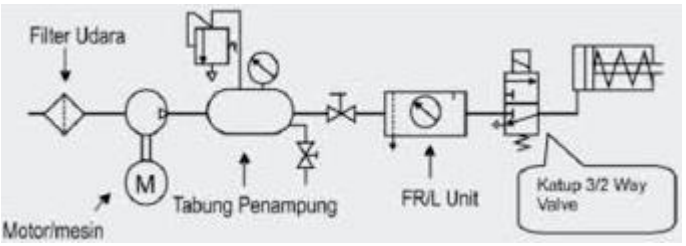
Gambar 16 Klasifikasi Kompresor

2. *Unit pengolahan udara bertekanan (Air Service Unit)*

   Udara bertekanan (kempa) yang akan masuk dalam sistem pneumatik harus diolah terlebih dahulu agar memenuhi persyaratan, yaitu :

a. tidak mengandung banyak debu yang dapat merusak keausan komponen komponen dalam sistem pneumatik,
b. mengandung kadar air rendah, kadar air yang tinggi dapat menimbulkan korosi dan kemacetan pada peralatan pneumatik,
c. mengandung pelumas, pelumas sangat diperlukan untuk mengurangi gesekan antar komponen yang bergerak seperti pada katup-katup dan aktuator.

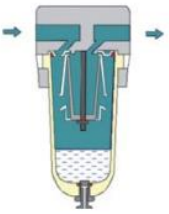
   Secara lengkap suplai udara bertekanan memiliki urutan sebagai berikut: Filter udara, sebelum udara atmosfer di hisap kompresor, terlebih dahulu disaring agar tidak ada partikel debu yang merusak kompresor. Kompresor digerakkan oleh motor listrik atau mesin bensin/diesel tergantung kebutuhan. Tabung penampung udara bertekanan akan menyimpan udara dari kompresor, selanjutnya melalui katup satu arah udara dimasukkan ke FR/L unit, yang terdiri dari Filter, Regulator dan *Lubrication*/pelumasan agar lebih memenuhi syarat.



Gambar 17 Sistem Pengolahan Udara Bertekanan

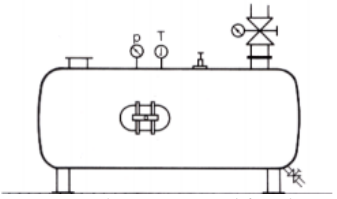
Pengolahan udara bertekanan agar memenuhi persyaratan diperlukan peralatan yang memadai, antara lain :

- **Filter Udara** berfungsi sebagai alat penyaring udara yang diambil dari udara luar yang masih banyak mengandung kotoran. Filter berfungsi untuk memisahkan partikel-partikel yang terbawa seperti debu, oli residu.



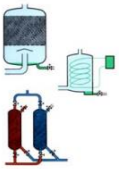
Gambar 18 Filter Udara

- **Tangki Udara** Berfungsi untuk menyimpan udara bertekanan hingga pada tekanan tertentu hingga pengisian akan berhenti, kemudian dapat digunakan sewaktu waktu diperlukan



Gambar 19 Tangki Udara

- **Pengering Udara** berfungsi untuk menghilangkan kandungan air pada *compressed* air (udara ter kompresi). Sistem ini biasanya menjadi satu kesatuan proses dengan kompresor. Udara ter kompresi hasil dari kompresor sebagian akan masuk ke tangki penyimpan dan sebagian lagi dikeringkan menggunakan air *dryer*



Gambar 20 Pengering Udara

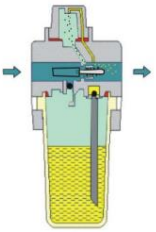
- **Kompresor** berfungsi untuk menghisap udara atmosfer kemudian dimampatkan ke tabung penyimpan hingga tekanan tertentu. Sebelum digunakan harus ada sistem pengolahan udara bertekanan untuk membersihkan dan mengeringkan sebelum digunakan.

Gambar 21 Kompresor

- **Pemisah Air** udara bertekanan yang keluar melalui filter masih mengandung uap air. Kelembaban dalam udara bertekanan dapat menyebabkan korosi pada semua saluran, sambungan, katup, alat-alat yang tidak dilindungi sehingga harus dikeringkan dengan cara memisahkan air melalui tabung pemisah air.

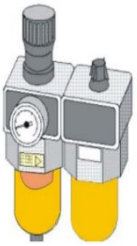
Gambar 22 Pemisah Air

- **Tabung pelumas,** komponen sistem pneumatik memerlukan pelumasan (lubrication) agar tidak cepat aus, serta dapat mengurangi panas yang timbul akibat gesekan. Oleh karena itu udara bertekanan/mampat harus mengandung kabut pelumas yang diperoleh dari tabung pelumas pada regulator.



Gambar 23 Tabung Pelumas

- **Regulator udara bertekanan,** Udara yang telah memenuhi persyaratan, selanjutnya akan disalurkan sesuai dengan kebutuhan. Untuk mengatur besar kecilnya udara yang masuk, diperlukan keran udara yang terdapat pada regulator, sehingga udara yang di suplai sesuai dengan kebutuhan kerjanya. Adapun unit pengolahan udara dapat dilihat pada gambar di bawah ini:



Gambar 24 Regulator udara

Unit pengolahan udara bertekanan memiliki jaringan instalasi perpipaan yang sudah dirancang agar air dapat terpisah dari udara. Air memiliki masa jenis (Rho) yang lebih tinggi sehingga cenderung berada di bagian bawah. Untuk menjebak nya maka instalasi pipa diberi kemiringan, air akan mengalir secara alami ke tabung penampung air, selanjutnya dibuang. Sedangkan udara kering diambil dari bagian atas instalasi agar memiliki kadar air yang rendah.

Gambar 25 Sistem Kerja Pneumatik

Hidrolika

Bertahun-tahun lalu manusia telah menemukan kekuatan dari perpindahan air, meski pun mereka tidak mengetahui hal tersebut merupakan prinsip hidrolik. Sejak pertama digunakan prinsip ini, mereka terus menerus mengaplikasikan prinsip ini untuk banyak hal untuk kemajuan dan kemudahan umat manusia. Hidrolik adalah ilmu pergerakan fluida, tidak terbatas hanya pada fluida air. Jarang dalam keseharian kita tidak menggunakan prinsip hidrolik, tiap kali kita minum air, tiap kali kita menginjak rem kita mengaplikasikan prinsip hidrolik. Sistem hidrolik banyak memiliki keuntungan. Sebagai sumber kekuatan untuk banyak variasi pengoperasian. Keuntungan sistem hidrolik antara lain :

- Ringan
- Mudah dalam pemasangan
- Sedikit perawatan
- Sistem hidrolik hampir 100 % efisien, bukan berarti mengabaikan terjadinya gesekan fluida.

Untuk mengerti prinsip hidrolik kita harus mengetahui perhitungan dan beberapa hukum yang berhubungan dengan prinsip hidrolik.

- Area adalah ukuran permukaan (in^2 , m^2)
- *Force* adalah jumlah dorongan atau tarikan pada objek (lb, kg)
- Unit *pressure* adalah jumlah kekuatan dalam satu unit area (lb/in^2, Psi)
- Stroke (panjang) adalah diukur berdasarkan jarak pergerakan piston dalam silinder (in, m)
- Volume diukur berdasarkan jumlah dalam in^3, m^3 yang dihitung berdasarkan jumlah fluida dalam reservoir atau dalam pompa atau pergerakan silinder.

Fluida yang digunakan dalam bentuk likuid atau gas. Fluida yang digunakan dalam sistem hidrolik umumnya oli. Prinsip Pascal, tekanan yang dipakai kan kepada suatu fluida tertutup diteruskan tanpa berkurang besarnya kepada setiap bagian fluida dan dinding dinding yang berisi fluida tersebut. Hasil ini adalah suatu konsekuensi yang perlu dari hukum hukum mekanika fluida, dan bukan merupakan sebuah prinsip bebas. Property cairan hidrolik merupakan hal-hal yang dimiliki oleh cairan hidrolik tersebut sehingga cairan hidrolik tersebut dapat melaksanakan tugas atau fungsinya dengan baik. Adapun fungsi/tugas cairan hidrolik: pada sistem hidrolik antara lain:

- Sebagai penerus tekanan atau penerus daya
- Sebagai pelumas untuk bagian-bagian yang bergerak
- Sebagai pendingin komponen yang bergesekan
- Sebagai bantalan dari terjadinya hentakan tekanan pada akhir langkah. Pencegah korosi
- Penghanyut *bram/chip* yaitu partikel-partikel kecil yang mengelupas dari komponen
- Sebagai pengirim isyarat (sinyal)

Syarat cairan hidrolik

Untuk memenuhi fungsi dari hidrolik tersebut, sebaiknya cairan hidrolik tersebut harus memenuhi syarat cairan yaitu :

- **Kekentalan** (Viskositas) yang cukup. Cairan hidrolik harus memiliki kekentalan yang cukup agar dapat memenuhi fungsinya sebagai pelumas. Apabila viskositas terlalu rendah maka film oli yang terbentuk akan sangat tipis sehingga tidak mampu untuk menahan gesekan. Demikian juga bila viskositas terlalu kental, tenaga pompa akan semakin berat untuk melawan gaya viskositas cairan
- **Indeks viskositas** Dengan *viscosity index* yang baik maka kekentalan cairan hidrolik akan stabil digunakan pada sistem dengan perubahan suhu kerja yang cukup fluktuatif
- **Tahan api** Sistem hidrolik sering juga beroperasi ditempat-tempat yang cenderung timbul api atau berdekatan dengan api. Oleh karena itu perlu cairan yang tahan api.
- **Tidak berbusa** Bila cairan hidrolik banyak berbusa akan berakibat banyak gelembung gelembung udara yang terperangkap dalam cairan hidrolik sehingga akan terjadi *compressible* dan akan mengurangi daya transfer. Di samping itu,

dengan adanya busa tadi kemungkinan ter jilat api akan lebih besar.

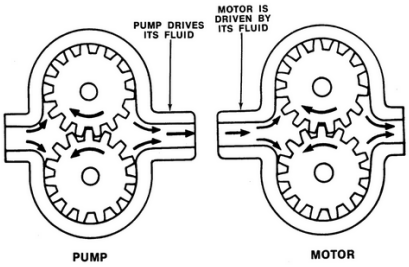
- **Tahan dingin** Tahan dingin adalah bahwa cairan hidrolik tidak mudah membeku bila beroperasi pada suhu dingin. Titik beku atau titik cair yang dikehendaki oleh cairan hidrolik berkisar antara 10°-15° C di bawah suhu permulaan mesin dioperasikan (start up). Hal ini untuk mengantisipasi terjadinya blok (penyumbatan) oleh cairan hidrolik yang membeku.
- **Tahan korosi dan aus** Cairan hidrolik harus mampu mencegah terjadinya korosi karena dengan tidak terjadi korosi maka konstruksi akan tidak mudah aus dengan kata lain mesin akan awet
- ***Demulsibility* (*Water separable*)** yang dimaksud dengan *demulsibility* adalah kemampuan cairan hidrolik, karena air akan mengakibatkan terjadinya korosi bila berhubungan dengan logam
- **Minimal *compressibility*** Secara teoritis cairan adalah *uncompressible* (tidak dapat di kempa). Tetapi kenyataannya cairan hidrolik dapat di kempa sampai dengan 0,5 % volume untuk setiap penekanan 80 bar oleh karena itu dipersyaratkan bahwa cairan hidrolik agar seminimal mungkin dapat di kempa.

Komponen Sistem Hidrolik

Motor hidrolik berfungsi untuk mengubah energi tekanan cairan hidrolik menjadi energi mekanik. Pompa umumnya digunakan untuk memindahkan sejumlah volume cairan yang digunakan agar suatu cairan tersebut memiliki bentuk energi. Katup pada sistem dibedakan atas fungsi, desain dan cara kerja katup Pompa hidrolik berfungsi untuk mentransfer energi mekanik menjadi energi hidrolik. Pompa hidrolik bekerja dengan cara menghisap oli dari tangki hidrolik dan mendorongnya ke dalam sistem hidrolik dalam bentuk aliran (*flow*). Aliran ini yang dimanfaatkan dengan cara merubah nya menjadi tekanan. Tekanan dihasilkan dengan cara menghambat aliran oli dalam sistem hidrolik. Hambatan ini dapat disebabkan oleh *orifice*, silinder, motor hidrolik, dan aktuator.

Gambar 26 Pompa Hidrolik

Aliran ini yang dimanfaatkan dengan cara merubah nya menjadi tekanan. Tekanan dihasilkan dengan cara menghambat aliran oli dalam sistem hidrolik. Hambatan ini dapat disebabkan oleh *orifice*, silinder, motor hidrolik, dan aktuator. Pompa hidrolik yang biasa digunakan ada dua macam yaitu *Positive* dan Non *positive Displacement Pump*



Gambar 27 Motor Hidrolik

Pompa hidrolik yang biasa digunakan ada dua macam yaitu *Positive* dan Non *positive Displacement Pump*. Cara Memanfaatkan Tenaga Pada Sistem hidrolik Ada dua macam peralatan yang biasanya digunakan dalam merubah energi hidrolik menjadi energi mekanik yaitu motor hidrolik dan aktuator. Motor hidrolik mentransfer energi hidrolik menjadi energi mekanik dengan cara memanfaatkan aliran oli dalam sistem merubah nya menjadi energi putaran yang dimanfaatkan untuk menggerakkan roda, transmisi, pompa. Perawatan dari sistem hidrolik, memerlukan penggunaan fluida hidrolik yang layak, pemilihan tube dan *seal* yang layak. Dan kita harus dapat mengetahui bagaimana pengecekan untuk kebersihan nya yang layak. Perbaikan pada sistem hidrolik, adanya satu prosedur perawatan dilakukan pada mekanik hidrolik. Sebelum perbaikan dimulai, spesifikasi tipe fluida harus diketahui . warna dari fluida pada sistem dapat juga digunakan sebagai penentu dari tipe fluida. Perawatan efektif dari sistem hidrolik yang diperlukan

adalah melihat kelayakan *seal*, tube, selang yang digunakan. Untuk sistem hidrolik (3000 psi) digunakan tube *stainless steel*, dan untuk sistem hidrolik tekanan rendah dapat digunakan tube dari aluminium Alloy.

Bahan diskusi dan Tugas

1. Jelaskan dan sebutkan bagian bagian dari sistem hidrolik dan pneumatik!
2. Jelaskan kelebihan dan kekurangan sistem Pneumatik!
3. Apa yang anda ketahui tentang gerakan melingkar beraturan?
4. Apa yang anda ketahui sistem mekanik dan berikan 2 contohnya!
5. Sebutkan syarat syarat cairan hidrolik!

BAB 3

Dasar Elektronika

ZUFRI HASRUDY SIREGAR

COGITO ERGO SUM

DASAR ELEKTRONIKA

Arus listrik

Elektronika adalah ilmu mengenai elektron. Elektronika membahas cara cara penggunaan elektron untuk melakukan hal-hal yang bermanfaat dan menarik. Pada pembahasan tentang rangkaian listrik, perlu kiranya kita mengetahui terlebih dahulu beberapa hal mengenai apa itu yang dimaksud dengan listrik. Untuk memahami tentang listrik, perlu di ketahui terlebih dahulu pengertian dari arus. Arus merupakan perubahan kecepatan muatan terhadap waktu atau muatan yang mengalir dalam satuan waktu dengan simbol i (dari kata Prancis : *intensite*), dengan kata lain arus adalah muatan yang bergerak. Selama muatan tersebut bergerak maka akan muncul arus tetapi ketika muatan tersebut diam maka arus pun akan hilang. Muatan akan bergerak jika ada energi luar yang mempengaruhi nya. Muatan adalah satuan terkecil dari atom atau sub bagian dari atom. Dimana dalam teori atom modern menyatakan atom terdiri dari partikel inti (proton bermuatan + dan neutron bersifat netral) yang dikelilingi oleh muatan elektron (-), normalnya atom bermuatan netral. Muatan terdiri dari dua jenis yaitu muatan positif dan muatan negatif Arah arus searah dengan arah muatan positif (arah arus listrik) atau berlawanan dengan arah aliran elektron. Suatu partikel dapat menjadi muatan positif apabila kehilangan elektron dan menjadi muatan negatif apabila menerima elektron dari partikel lain. Coulomb adalah unit dasar dari *International System of Units* (SI) yang digunakan untuk mengukur muatan listrik. Unit (SI) yang digunakan untuk mengukur muatan listrik.

Simbol : Q = muatan konstan
Q = muatan tergantung satuan waktu
muatan 1 elektron = $-1{,}6021 \times 10^{-19}$ coulomb
1 coulomb = -6,24 x 1018 elektron
Secara matematis arus di definisikan

$$i = \frac{da}{dt}$$

Satuan arus adalah Ampere (A). Dalam teori rangkaian arus merupakan pergerakan muatan positif. Ketika terjadi beda potensial di suatu elemen atau komponen maka akan muncul arus dimana arah arus positif mengalir dari potensial tinggi ke potensial rendah dan arah arus negatif mengalir sebaliknya.

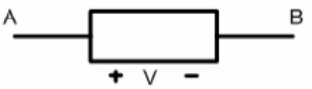
Macam-macam arus :

1. Arus searah (*Direct Current*/DC). Arus DC adalah arus yang mempunyai nilai tetap atau konstan terhadap satuan waktu, artinya dimana pun kita meninjau arus tersebut pada waktu berbeda akan mendapatkan nilai yang sama
2. Arus bolak balik (*Alternating Current*/AC). Arus AC adalah arus yang mempunyai nilai yang berubah terhadap satuan waktu dengan karakteristik akan selalu berulang untuk periode waktu tertentu (mempunyai periode waktu : T).

Tegangan atau sering kali orang menyebut dengan beda potensial dalam bahasa Inggris *voltage* adalah kerja yang dilakukan untuk menggerakkan satu muatan (sebesar satu coulomb) pada elemen atau komponen dari satu terminal/kutub ke terminal/kutub lainnya, atau pada kedua terminal/kutub akan mempunyai beda potensial jika kita menggerakkan/memindahkan muatan sebesar satu coulomb dari satu terminal ke terminal lainnya. Keterkaitan antara kerja yang dilakukan sebenarnya adalah energi yang dikeluarkan, sehingga pengertian diatas dapat dipersingkat bahwa tegangan adalah energi per satuan muatan. Secara matematis

$$v = \frac{dw}{dq}$$

Satuan nya adalah Volt (v)



Gambar 28 Tegangan

Pada gambar diatas, jika terminal/kutub A mempunyai potensial lebih tinggi daripada potensial di terminal/kutub B. Maka ada dua istilah yang sering kali dipakai pada Rangkaian Listrik, yaitu :

❖ Tegangan turun/ *voltage* drop. Jika dipandang dari potensial

lebih tinggi ke potensial lebih rendah dalam hal ini dari terminal A ke terminal B.

- Tegangan naik/ *voltage rise*. Jika dipandang dari potensial lebih rendah ke potensial lebih tinggi dalam hal ini dari terminal B ke terminal A.

Ada juga hal yang penting untuk diketahui sebelum membahas tentang pokok bahasan dalam bab ini yaitu fase. Umumnya beberapa fase yang diketahui adalah 1 fase, 2 fase, dan juga 3 fase. Penjelasan untuk ketiga jenis fase tersebut dijelaskan berikut ini.

1. Rangkaian 3 fase

Listrik 3 fase adalah listrik yang menggunakan tiga kawat fase dan satu kawat 0 (netral) atau kawat *ground*. Jadi total ada 4 kabel yang masuk ke instalasi listriknya, itu sebabnya kenapa MCB 1 fase dan MCB 3 fase berbeda jumlah lubang nya. Listrik 3 fase memiliki tegangan listrik sebesar 380 volt dan banyak digunakan pada industri, pabrik, hotel, dan tempat tempat yang membutuhkan daya listrik besar lainnya. Keuntungan listrik 3 fase yaitu menyediakan daya listrik yang besar karena menggunakan tegangan yang lebih tinggi, maka arus yang akan mengalir akan lebih rendah untuk daya yang sama. Sehingga untuk daya yang besar, kabel yang digunakan dapat lebih kecil, sehingga lebih menghemat kabel. Untuk motor induksi yang memerlukan daya besar, listrik 3 fase tidak memerlukan kapasitor lagi untuk menggerakkan motor. Kekurangan jaringan listrik 3 fase yaitu biaya operasional yang mahal. Listrik 3 fase biasanya arus bolak balik (AC) , transmisi dan distribusi. Sistem tiga fase umumnya lebih ekonomis dari pada yang lain karena menggunakan lebih sedikit bahan konduktor untuk mentransmisikan daya listrik dari pada sistem satu fase atau dua fase. Sistem tiga fase diperkenalkan dan dipatenkan oleh Nikolas Tesla pada tahun-tahun 1887 hingga 1888.

Gambar 29 Gardu 3 fase

Dalam sistem fase tiga, tiga konduktor membawa tiga rangkaian arus bolak (dari frekuensi yang sama) yang mencapai puncak sesaat nilai pada waktu yang berbeda. Mengambil satu konduktor sebagai acuan, dua lainnya arus yang tertunda dalam waktu dengan sepertiga dan dua pertiga dari satu siklus arus listrik. Penundaan antara fase ini memiliki pengaruh pemberian transfer daya konstan setiap siklus arus dan juga memungkinkan untuk menghasilkan medan magnet berputar dalam motor listrik.

Tiga fase sistem mungkin memiliki netral kawat. Sebuah kawat netral memungkinkan sistem tiga fase menggunakan tegangan yang lebih tinggi sementara masih mendukung lebih rendah-tegangan fase-tunggal peralatan. Dalam situasi distribusi tegangan tinggi, biasanya tidak memiliki kawat netral sebagai beban yang hanya dapat dihubungkan antara fase (fase-fase koneksi). Tiga tahap memiliki sifat yang membuatnya sangat diinginkan dalam sistem tenaga listrik:

1. Arus fase cenderung membatalkan satu sama lain, penjumlahan ke nol dalam hal beban seimbang linier. Hal ini memungkinkan untuk menghilangkan atau mengurangi ukuran konduktor netral; semua konduktor fase membawa yang sama saat ini dan sehingga dapat menjadi ukuran yang sama, untuk beban seimbang
2. Power menjadi beban seimbang linier adalah konstan, yang membantu untuk mengurangi getaran generator dan motor.
3. Tiga fase sistem dapat menghasilkan medan magnet yang berputar ke arah tertentu, yang menyederhanakan rancangan motor listrik

2. Rangkaian 1 fase

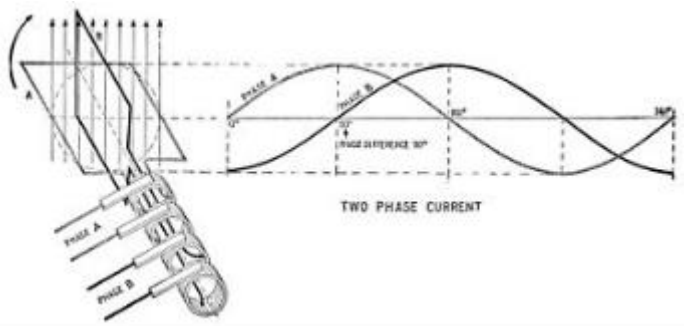
Dalam teknik elektro, fase tunggal tenaga listrik mengacu pada distribusi arus bolak tenaga listrik menggunakan sistem di mana semua tegangan pasokan bervariasi serempak. Listrik 1 fase adalah instalasi listrik yang menggunakan dua kawat pengantar yaitu 1 kawat fase dan 1 kawat 0 netral. Sehingga secara sederhana, listrik 1 fase dapat dikatakan adalah listrik yang memiliki dua kabel yaitu 1 bertegangan dan 1 netral. Umumnya bertegangan 220 volt. Jadi pada listrik PLN itu memiliki 3 fase, tetapi yang masuk ke rumah hanya 1 fase karena tidak memerlukan daya besar. Kelebihan jaringan listrik 1 fase yaitu murah biaya operasional dan mudah pemakaiannya karena hanya terdiri dari 2 kawat, sementara kekurangan jaringan listrik 1 fase adalah hanya terbatas pada skala rumah tangga dan untuk generator 1 fase memiliki ukuran yang besar. Standar frekuensi daya sistem 1 fase baik 50 atau 60 Hz . Khusus 1 fase daya jaringan traksi dapat beroperasi pada 16,67 Hz atau frekuensi lain untuk kereta api listrik. Distribusi 1 fase banyak digunakan terutama di daerah pedesaan, di mana biaya jaringan distribusi tiga fase yang tinggi

Gambar 30 Gardu 1 fase

3. Rangkaian 2 Fase

Merupakan dua sirkuit yang digunakan, dengan tegangan fase berbeda dengan 90 derajat. Biasanya sirkuit menggunakan empat kabel, dua untuk setiap tahap. Kurang sering, tiga kabel digunakan, dengan kabel biasa dengan konduktor yang lebih besar-diameter. Beberapa generator dua tahap awal memiliki dua majelis rotor dan lapangan lengkap, dengan gulungan fisik diimbangi dengan 90

derajat listrik untuk memberikan tenaga dua-fase. Air terjun Niagara dipasang pada tahun 1895 adalah generator terbesar di dunia pada saat itu dan dua-fase mesin.



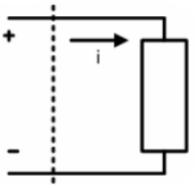
Gambar 31 rangkaian 2 fase

Keuntungan dari dua fase listrik adalah motor listrik yang sederhana, lebih mudah untuk menganalisa dan desain sistem dua fase terpisah.

Energi dan Daya

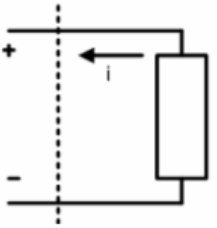
Kerja yang dilakukan oleh gaya sebesar satu Newton sejauh satu meter. Jadi energi adalah sesuatu kerja dimana kita memindahkan sesuatu dengan mengeluarkan gaya sebesar satu Newton dengan jarak tempuh atau sesuatu tersebut berpindah dengan selisih jarak satu meter. Pada alam akan berlaku hukum Kekekalan Energi dimana energi sebetulnya tidak dapat dihasilkan dan tidak dapat dihilangkan, energi hanya berpindah dari satu bentuk ke bentuk yang lainnya. Contohnya pada pembangkit listrik, energi dari air yang bergerak akan berpindah menjadi energi yang menghasilkan energi listrik, energi listrik akan berpindah menjadi energi cahaya jika anergi listrik tersebut melewati suatu lampu, energi cahaya akan berpindah menjadi energi panas jika bola lampu tersebut pemakaiannya lama, demikian seterusnya. Untuk menyatakan apakah energi dikirim atau diserap tidak hanya polaritas tegangan tetapi arah arus juga berpengaruh. Elemen/komponen listrik digolongkan menjadi :

- Menyerap energi. Jika arus positif meninggalkan terminal positif menuju terminal elemen/komponen, atau arus positif menuju terminal positif elemen/komponen tersebut



Gambar 32 Menerima Energi

- Mengirim energi. Jika arus positif masuk terminal positif dari terminal elemen/komponen, atau arus positif meninggalkan terminal positif elemen/komponen. Energi yang diserap/dikirim pada suatu elemen yang bertegangan v dan muatan yang melewatinya a Δq adalah $\Delta w = v \Delta q$ Satuan nya : Joule (J)



Gambar 33 Mengirim Energi

Elemen rangkaian listrik

Seperti dijelaskan pada pembahasan sebelumnya, bahwa pada rangkaian listrik tidak dapat dipisahkan dari penyusun nya sendiri, yaitu berupa elemen atau komponen. Sekarang akan dibahas elemen atau komponen listrik aktif dan pasif.

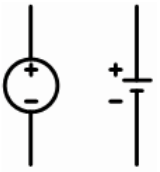
Elemen aktif adalah elemen yang menghasilkan energi, pada elemen aktif adalah sumber tegangan dan sumber arus. Pada pembahasan selanjutnya kita akan membicarakan semua yang berkaitan dengan elemen atau komponen ideal. Yang dimaksud dengan kondisi ideal di sini adalah bahwa sesuatunya berdasarkan dari sifat karakteristik dari elemen atau komponen tersebut dan tidak terpengaruh oleh lingkungan luar. Jadi untuk elemen listrik seperti sumber tegangan, sumber arus, komponen R, L, dan C diasumsikan semuanya dalam kondisi ideal.

1. Sumber Tegangan (*Voltage Source*)

Sumber tegangan ideal adalah suatu sumber yang menghasilkan tegangan yang tetap, tidak tergantung pada arus yang mengalir pada sumber tersebut, meski pun tegangan tersebut merupakan fungsi dari t.

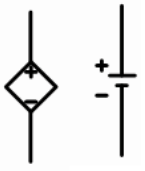
Sifat lain yaitu mempunyai nilai resistansi dalam Rd = 0 (sumber tegangan ideal)

a. Sumber tegangan bebas/ Independent *Voltage Source*
   Sumber yang menghasilkan tegangan tetap tetapi mempunyai sifat khusus yaitu harga tegangan nya tidak bergantung pada harga tegangan atau arus lainnya, artinya nilai tersebut berasal dari sumber tegangan dia sendiri.



Gambar 34 Lambang sumber tegangan bebas

b. Sumber Tegangan Tidak Bebas/ *Dependent Voltage Source*
   Mempunyai sifat khusus yaitu harga tegangan bergantung pada harga tegangan atau arus lainnya.



Gambar 35 Lambang sumber tegangan tidak bebas

2. Sumber Arus(*Current Source*)

Sumber arus ideal adalah sumber yang menghasilkan arus yang tetap, tidak bergantung pada tegangan dari sumber arus tersebut. Sifat lain: Mempunyai nilai resistansi dalam Rd = ∞ (sumber arus ideal)

a. Sumber Arus Bebas/ *Independent Current Source* mempunyai sifat khusus yaitu harga arus tidak bergantung pada harga tegangan atau arus lainnya.

Gambar 36 Lambang sumber arus bebas

b. Sumber Arus Tidak Bebas/ *Dependent Current Source* mempunyai sifat khusus yaitu harga arus bergantung pada harga tegangan atau arus lainnya.

Gambar 37 Lambang sumber arus tidak bebas

Elemen pasif

1. Resistor

Sering juga disebut dengan tahanan, hambatan, pengantar, atau resistansi dimana resistor mempunyai fungsi sebagai penghambat arus, pembagi arus, dan pembagi tegangan. Nilai resistor tergantung dari hambatan jenis bahan resistor itu sendiri (tergantung dari bahan pembuatnya), panjang dari resistor itu sendiri dan luas penampang dari resistor itu sendiri.
secara matematis di rumuskan :

$$R = \rho \frac{I}{A}$$

Dimana : ρ = hambatan jenis
l = Panjang dari resistor
A = Luas penampang

Satuan dari resistor adalah Ohm (Ω)

2. Kapasitor

Sering juga disebut dengan kondensator atau kapasitansi. Mempunyai fungsi untuk membatasi arus DC yang mengalir pada kapasitor tersebut, dan dapat menyimpan energi dalam bentuk medan listrik. Nilai suatu kapasitor tergantung dari nilai

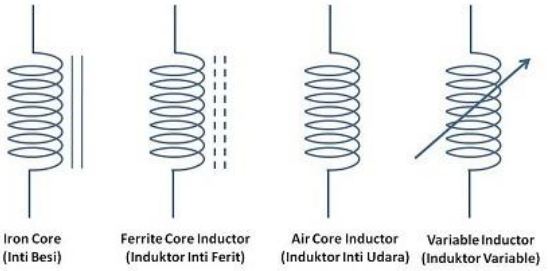
permitivitas[1] bahan pembuat kapasitor, luas penampang dari kapasitor tersebut dan jarak antara dua keping penyusun dari kapasitor tersebut, secara matematis

$$C = \varepsilon \frac{A}{d}$$

Dimana : ε = permitivitas bahan
A = luas penampang bahan
d = jarak dua keping
satuan dari kapasitor adalah Farad (F)

3. Induktor

Induktor atau reaktor adalah sebuah komponen elektronika pasif (kebanyakan berbentuk torus) yang dapat menyimpan energi pada medan magnet yang ditimbulkan oleh arus listrik yang melintasi nya. Kemampuan induktor untuk menyimpan energi magnet ditentukan oleh induktansinya, dalam satuan Henry. Biasanya sebuah induktor adalah sebuah kawat pengantar yang dibentuk menjadi kumparan, lilitan membantu membuat medan magnet yang kuat di dalam kumparan dikarenakan hukum induksi Faraday. Induktor adalah salah satu komponen elektronik dasar yang digunakan dalam rangkaian yang arus dan tegangan nya berubah-ubah dikarenakan kemampuan induktor untuk memproses arus bolak-balik.



Gambar 38 Lambang induktor

[1] Permitivitas adalah suatu kuantitas fisik yang menggambarkan bagaimana medan listrik memengaruhi dan dipengaruhi oleh suatu medium dielektrik, dan nilainya ditentukan oleh kemampuan bahan dari medium untuk ter polarisasi sebagai respons dari medan tersebut, yang pada akhirnya juga mengurangi medan listrik dalam bahan. Jadi, permitivitas berkaitan dengan kemampuan suatu material untuk menyampaikan atau memperbolehkan (atau permit dalam bahasa Inggris) suatu medan listrik.

Semikonduktor

DIODA

Dioda atau dalam bahasa Inggris disebut dengan *Diode* adalah komponen elektronika yang dapat menghantarkan arus listrik ke satu arah saja. Jika arah arus nya terbalik, maka Dioda akan menghambat arus listrik tersebut. Karena sifatnya yang dapat menghantarkan arus listrik ke satu arah (*forward* bias) dan menghambat arus listrik dari arah sebaliknya (*reverse* bias), dioda yang terbuat dari bahan semikonduktor ini sering digunakan sebagai penyearah bentuk gelombang (*wave rectifier*) dalam pencatu daya dan detektor radio. Dioda juga sering digunakan pada rangkaian-rangkaian listrik dan elektronika yang memerlukan hasil "satu arah". Bahan semikonduktor yang sering digunakan untuk membuat Dioda adalah bahan Silikon (Si) dan bahan Germanium (Ge). Pada awal mula penemuannya, alat yang dapat menghantarkan arus listrik ke satu arah dan menghambat dari arah sebaliknya ini disebut dengan nama *Rectifier* atau Penyearah, nama Dioda ini pertama kali diperkenalkan oleh William Henry Eccles pada tahun 1919. Istilah Dioda ini berasal dari kata "Di" yang artinya adalah "dua" dan kata "ode" yang artinya adalah "jalur".

Dioda adalah komponen semikonduktor yang paling sederhana dalam komponen dasar elektronika, piranti ini memiliki 2 terminal dan terbuat dari dua jenis sambungan semikonduktor tipe P dan tipe N. Bahan tipe P menjadi sisi anode, sedangkan bahan tipe N menjadi sisi katode. Banyak sekali penggunaan diode dan secara umum diode dapat digunakan antara lain untuk pengaman, penyearah, *Voltage Regulato*r, Modulator, Pengendali Frekuensi, *Indikator*, *Switch*.

Gambar 39 Simbol diode

Prinsip kerja dioda

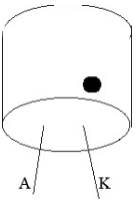
Prinsip kerja dioda termionik[2] ditemukan kembali oleh Thomas Edison pada 13 Februari 1880 dan dia diberi hak paten pada tahun

[2] Termionik ialah pancaran elektron bebas dari permukaan logam atau semikonduktor oleh pemanasan seperti halnya penguapan molekul-molekul cairan dari permukaan cairan

1883 (U.S. Patent 307.031), namun tidak dikembangkan lebih lanjut. Braun mematenkan penyearah kristal pada tahun 1899. Penemuan Braun dikembangkan lebih lanjut oleh Jagdish Chandra Bose menjadi sebuah peranti berguna untuk detektor radio. Dioda terbentuk dari bahan semikonduktor tipe P dan N yang digabungkan. Dengan demikian dioda sering disebut PN *junction*. Dioda adalah gabungan bahan semikonduktor tipe N yang merupakan bahan dengan kelebihan elektron dan tipe P adalah kekurangan satu elektron sehingga membentuk *Hole*. *Hole* dalam hal ini berfungsi sebagai pembawa muatan. Apabila kutub P pada dioda (biasa disebut anode) dihubungkan dengan kutub positif sumber maka akan terjadi pengaliran arus listrik dimana elektron bebas pada sisi N (katode) akan berpindah mengisi *hole* sehingga terjadi pengaliran arus. Sebaliknya apabila sisi P dihubungkan dengan negatif baterai / sumber, maka elektron akan berpindah ke arah terminal positif sumber. Didalam dioda tidak akan terjadi perpindahan elektron.

Cara untuk menentukan nama kaki- kaki suatu diode

1. Titik
   Kaki yang dekat dengan tanda titik merupakan sisi katoda, sedangkan yang lainnya adalah anoda

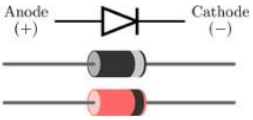


Gambar 40 Diode dengan titik

2. Cincin/ Gelang
   Cincin/ gelang terletak pada ujung bodi diode. Kaki yang dekat dengan cincin merupakan katode, dan yang lainnya adalah anoda.

Gambar 41 Diode dengan cincin

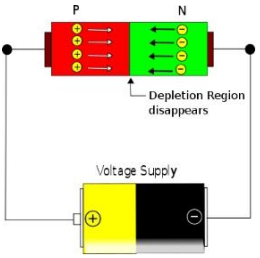
3. Pita- Pita Berwarna
   Pita- pita yang terpasang pada diode mempunyai lebar yang berbeda antara sisi satu dengan yang lainnya. Untuk menentukan kaki kakinya cukup melihat pita yang paling lebar, yang paling dekat dengan pita tersebut adalah katode dan yang lainnya adalah anode.



Gambar 42 Diode dengan pita warna

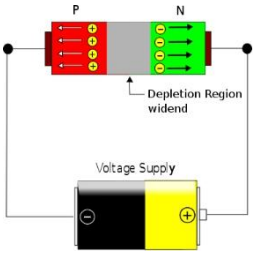
Cara menghubungkan diode ke sumber tegangan

1. Bias Maju (*Forward* Bias)
   Diode bias maju jika potensial positif sumber dihubungkan dengan positif diode (anode), sedangkan potensial *negative* sumber dihubungkan dengan diode *negative* (katode). Pada *Forward* Bias, perbedaan *voltage* antara katode dan anode disebut *threshold voltage* atau *knee voltage*. Pada saat *knee voltage* arus nya mulai bertambah cepat.



Gambar 43 Bias maju

2. Bias Mundur (*Reverse* Bias)
   Diode bias mundur jika potensial positif sumber dihubungkan dengan *negative* diode (katode), sedangkan *negative* sumber dihubungkan dengan positif diode (anode). Bila diode diberi *reverse* bias (beda *voltage* nya tergantung dari tegangan catu) tegangan tersebut disebut tegangan terbalik. Tegangan ini tidak boleh melampaui harga tertentu, harga yang telah ditentukan ini disebut (*breakdown voltage*)



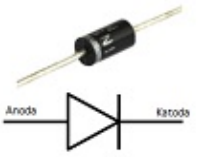
Gambar 44 Bias mundur

Diode hanya bias dialiri arus DC searah saja, pada arah sebaliknya arus DC tidak akan mengalir. Apabila diode silikon dialiri arus AC (arus listrik dari PLN), maka yang mengalir hanya satu arah saja sehingga arus *output* diode berupa arus DC. Diode dinyatakan dalam ukuran menurut kemampuan kuat arus yang mampu dilewatkan. Ukuran arus tersebut merupakan nilai maksimal yang tidak boleh dilampaui, jika dilampaui maka diode akan rusak. Khusus bagi diode dengan kemampuan arus besar harus dilengkapi dengan plat pendingin, di samping harus diperhatikan pula batas tegangan kerja dan frekuensi nya.

Jenis jenis dioda

1. Dioda Normal (diode PN *Junction*)

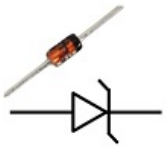
   Dioda jenis ini merupakan dioda yang paling sering ditemui dalam rangkaian elektronika, terutama pada rangkaian pencatu daya (*power supply*) dan rangkaian frekuensi radio (RF). Dioda jenis ini disebut juga Dioda Normal (Normal Diode) karena merupakan dioda standar yang paling umum digunakan atau pun Dioda Penyearah (*Rectifier* Diode) karena biasanya digunakan sebagai penyearah pada Pencatu Daya. Dioda ini juga dikenal dengan nama PN *Junction* Dioda.



Gambar 45 Dioda Normal

2. Dioda Zener

Dioda Zener adalah suatu diode yang mempunyai sifat bahwa tegangan terbalik nya sangat stabil, tegangan ini dinamakan tegangan Zener. Dioda Zener dibuat agar arus dapat mengalir ke arah yang berlawanan jika tegangan yang diberikan melampaui tegangan *Breakdown*. Di atas tegangan Zener, diode ini akan menghantarkan arus listrik ke dua arah. Dioda ini biasanya digunakan sebagai *Voltage Stabilizer*. Ciri ciri Dioda Zener terbuat dari silikon, kemampuan daya berkisar antara 400 mWatt – 50 Watt, merupakan diode yang di doping khusus

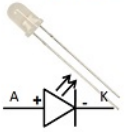


Gambar 46 Dioda Zener

3. LED (*Light Emitting* Dioda)

LED adalah komponen yang dapat mengeluarkan emisi cahaya. LED dapat mengeluarkan cahaya bila diberikan *Forward* Bias. Dioda jenis ini banyak digunakan sebagai indikator dan *display*. Bahan dasar yang digunakan untuk pembuatan LED adalah Galium *Arsenide* (GaAs), yang dapat memancarkan cahaya dengan warna yang bermacam- macam. Standar arus maju LED adalah 20 mah, oleh karena itu dalam penggunaan LED biasanya dihubungkan secara seri dengan hambatan (Resistor). Ciri ciri LED:

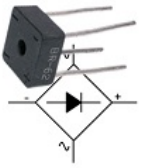
- ❖ Terbuat dari bahan semikonduktor campuran : Galium, Popor, Indium
- ❖ Dapat memancarkan cahaya jika dikenai tegangan listrik
- ❖ Tegangan kerja berkisar antara 1,4 V – 3 V
- ❖ Memerlukan arus antara 30 mA – 100 mA
- ❖ Intensitas cahaya berbanding langsung dengan arus maju yang mengalir



Gambar 47 LED

4. Diode *Bridge* (*Bridge* Dioda)

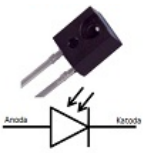
   Dioda *Bridge* pada dasarnya adalah Dioda yang terdiri dari 4 dioda normal yang umumnya digunakan sebagai penyearah gelombang penuh dalam rangkaian Pencatu Daya (*Power Supply*). Dengan menggunakan Dioda *Bridge* ini, kita tidak perlu lagi merangkai 4 buah dioda normal menjadi rangkaian penyearah tegangan AC ke tegangan DC karena telah di kemas oleh produsen menjadi 1 komponen saja. Dioda *Bridge* ini memiliki 4 kaki terminal yaitu 2 kaki terminal *Input* untuk masukan tegangan/arus bolak balik (AC) dan 2 kaki terminal untuk *Output* Positif (+) dan *Output* Negatif (-)



Gambar 48 Diode *Bridge*

5. Dioda Foto (*photo Diode*)

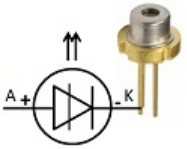
   Dioda Foto atau *Photo diode* adalah jenis Dioda yang dapat mengubah energi cahaya menjadi arus listrik. Dioda Foto ini sering digunakan sebagai sensor untuk mendeteksi cahaya seperti pada sensor cahaya kamera, sensor penghitung kendaraan, *scanner barcode* dan peralatan medis. Dioda Foto ini dapat dibagi menjadi dua jenis yaitu Dioda *Photovoltaic* yang menghasilkan tegangan seperti sel surya dan Dioda *Photo conductive* yang tidak menghasilkan tegangan dan harus diberikan sumber tegangan lain untuk penggerak beban.



Gambar 49 Diode foto

6. Diode Laser (Laser Diode)

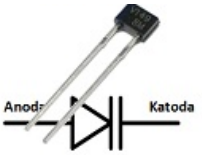
Dioda Laser atau Laser Diode adalah jenis dioda yang dapat menghasilkan radiasi atau cahaya koheren yang dapat dilihat oleh mata dan spektrum inframerah ketika dialiri arus listrik. Dioda Laser ini sering digunakan pada perangkat audio/video seperti *Player* DVD dan *Blue ray*, *Laser pointer*, *Scanner Barcode*, Alat ukur jarak dan *Printer* laser. LASER pada dasarnya adalah singkatan dari Light *Amplification by Stimulated Emission of Radiation*.



Gambar 50 Diode Laser

7. Diode *Varactor* (*Varactor* Diode)

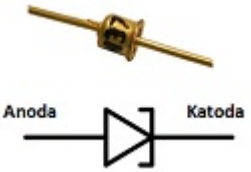
Dioda *Varactor* atau kadang-kadang disebut juga dengan Dioda *Varicap* adalah jenis dioda yang memiliki sifat kapasitas yang berubah ubah sesuai dengan tegangan yang diberikan. Dioda *Varactor* ini sering digunakan di rangkaian rangkaian yang berkaitan dengan frekuensi seperti osilator, TV *Tuner* dan Radio *Tuner*. Simbol Dioda *Varactor* atau Dioda *Varicap* ini dilambangkan dengan sebuah dioda yang ujungnya ditambahkan sebuah kapasitor.



Gambar 51 Diode *Varactor*

8. Dioda *Tunnel* (*Tunnel Diode*)

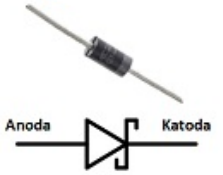
Dioda *Tunnel* atau Dioda Terowongan adalah jenis dioda yang mampu beroperasi pada kecepatan yang sangat tinggi dan dapat berfungsi dengan baik pada gelombang mikro (*Microwave*). Dioda *Tunnel* ini biasanya digunakan di rangkaian pendeteksi frekuensi dan *converter*. Dioda *Tunnel* disebut juga dengan Dioda Esaki. Nama Esaki diambil dari nama penemu Dioda jenis ini.



Gambar 52 Diode *Tunnel*

9. Dioda *Schottky* (*Schottky Diode*)

   Dioda *Schottky* merupakan jenis dioda dengan tegangan maju yang lebih rendah dari dioda normal pada umumnya. Pada arus rendah, tegangan jatuh bisa berkisar di antara 0,15V hingga 0,4V. tegangan ini lebih rendah dari dioda normal yang terbuat dari silikon yang memerlukan 0,6V. Dioda ini banyak digunakan pada aplikasi *rectifier* (penyearah), *clamping* dan juga aplikasi RF.



Gambar 53 Diode *Schottky*

Jenis jenis pengkodean diode

Ada tiga sistem pengkodean untuk diode, yaitu:

1. Sistem Amerika
   Sistem pengkodean diode pada sistem ini yaitu dimana dioda dioda ditandai dengan angka dan huruf 1N dan diikuti dengan nomor tipe nya. Contoh 1N4001
2. Sistem Jepang
   Sistem ini hampir sama seperti sistem Amerika, tetapi di sini ditandai dengan huruf 1S, dan diikuti dengan angka dan huruf lainnya.
3. Sistem Eropa
   Sistem Eropa ini berbeda dengan dua sistem yang sebelumnya, di sini terdiri dari dua atau tiga huruf dan diikuti dengan nomor seri, dimana huruf pertama menunjukkan bahan dasar dari diode tersebut. Contoh: A = Germanium, B = Silikon, Sedangkan huruf kedua menyatakan fungsinya, Contoh: A = Dioda Umum, Z = Dioda Zener, P = Dioda Cahaya.

KAPASITOR

Kapasitor (*Capacitor*) atau disebut juga dengan Kondensator (*Condensate*) adalah Komponen Elektronika Pasif yang dapat menyimpan muatan listrik dalam waktu sementara dengan satuan kapasitansnya adalah Farad. Satuan Kapasitor tersebut diambil dari nama penemu nya yaitu Michael Faraday (1791 ~ 1867) yang berasal dari Inggris. Namun Farad adalah satuan yang sangat besar, oleh karena itu pada umumnya Kapasitor yang digunakan dalam peralatan Elektronika adalah satuan Farad yang dikecilkan menjadi pikofarad, Nanofarad dan Mikrofarad.
Konversi Satuan Farad adalah sebagai berikut :
1 Farad = 1.000.000µF (mikro Farad)
1µF = 1.000nF (Nano Farad)
1µF = 1.000.000pF (Piko Farad)
1nF = 1.000pF (Piko Farad)
Kapasitor merupakan Komponen Elektronika yang terdiri dari 2 pelat konduktor yang pada umumnya adalah terbuat dari logam dan sebuah Isolator diantaranya sebagai pemisah. Dalam Rangkaian Elektronika, Kapasitor disingkat dengan huruf "C"

Cara membaca Kapasitor

Pada kapasitor yang berukuran besar, nilai kapasitansi umumnya ditulis dengan angka yang jelas. Lengkap dengan nilai tegangan maksimum dan polaritas nya. Misalnya pada kapasitor *elco* dengan jelas tertulis kapasitansi nya sebesar 22uF/25v.Kapasitor yang ukuran fisiknya mungil dan kecil biasanya hanya bertulis kan 2 (dua) atau 3 (tiga) angka saja. Jika hanya ada dua angka satuan nya adalah pF (pico farad). Sebagai contoh, kapasitor yang bertulis kan dua angka 47, maka kapasitansi kapasitor tersebut adalah 47pF.Jika ada 3 digit, angka pertama dan kedua menunjukkan nilai nominal, sedangkan angka ke-3 adalah faktor pengali. Faktor pengali sesuai dengan angka nominal nya, berturut-turut 1 = 10, 2 = 100, 3 = 1.000, 4 =10.000 dan seterusnya. Misalnya pada kapasitor keramik tertulis 104,maka kapasitansi nya adalah 10 x 10.000 = 100.000pF atau = 100 nF. Contoh lain misalnya tertulis 222, artinya kapasitansi kapasitor tersebut adalah 22 x 100 = 2200 pF = 2.2 nF. Selain dari kapasitansi ada beberapa karakteristik penting lainnya yang perlu diperhatikan. Biasanya spesifikasi

karakteristik ini disajikan oleh pabrik pembuat di dalam data *sheet*. Berikut ini adalah beberapa spesifikasi penting tersebut.

Jenis jenis Kapasitor

1. Kapasitor keramik (*Ceramic Capacitor*)
   Kapasitor Keramik adalah Kapasitor yang Isolator nya terbuat dari Keramik dan berbentuk bulat tipis atau pun persegi empat. Kapasitor Keramik tidak memiliki arah atau polaritas, jadi dapat dipasang bolak balik dalam rangkaian Elektronika. Pada umumnya, Nilai Kapasitor Keramik berkisar antara 1pf sampai 0.01µF. Kapasitor yang berbentuk *Chip* (*Chip Capacitor*) umumnya terbuat dari bahan Keramik yang di kemas sangat kecil untuk memenuhi kebutuhan peralatan Elektronik yang dirancang makin kecil dan dapat dipasang oleh Mesin Produksi SMT (*Surface Mount* Technology) yang berkecepatan tinggi. Pada kapasitor keramik dan beberapa jenis yang lain nilainya dikodekan. Biasanya terdiri dari 4 digit, dimana 3 digit merupakan angka dan digit terakhir berupa huruf yang menyatakan toleransi nya. 3 digit pertama angka yang terakhir berfungsi untuk menentukan 10n, nilai n dapat dilihat pada tabel.

Tabel 1 kode kapasitor keramik

3rd Digit	*Multiplier*	*Letter*	*Tolerance*
0	1	D	0.5 pF
1	10	F	1 %
2	100	G	2%
3	1000	H	3%
4	10000	J	5%
5	100000	K	10%
6-7	Not Used	M	20%
8	.01	P	+100-0%
9	.1	Z	+80-20%

Gambar 54 Kapasitor Keramik

2. Kapasitor *Polyester* (*Polyester Capacitor*)

   Kapasitor *Polyester* adalah kapasitor yang isolatornya terbuat dari *Polyester* dengan bentuk persegi empat. Kapasitor *Polyester* dapat dipasang terbalik dalam rangkaian Elektronika (tidak memiliki polaritas arah)

Gambar 55 Kapasitor *Polyester*

3. Kapasitor Kertas (*Paper Capacitor*)

   Kapasitor Kertas adalah kapasitor yang isolatornya terbuat dari Kertas dan pada umumnya nilai kapasitor kertas berkisar di antara 300pf sampai 4µF. Kapasitor Kertas tidak memiliki polaritas arah atau dapat dipasang bolak balik dalam Rangkaian Elektronika.

Gambar 56 Kapasitor Kertas

4. Kapasitor Mika (Mica *Capacitor*)

   Kapasitor Mika adalah kapasitor yang bahan Isolatornya terbuat dari bahan Mika. Nilai Kapasitor Mika pada umumnya berkisar antara 50 pF sampai 0.02 µF. Kapasitor Mika juga dapat dipasang bolak balik karena tidak memiliki polaritas arah.

Gambar 57 Kapasitor Mika

5. Kapasitor Elektrolit (*Electrolyte Capacitor*)

   Kapasitor Elektrolit adalah kapasitor yang bahan Isolatornya terbuat dari Elektrolit (*Electrolyte*) dan berbentuk Tabung / Silinder. Kapasitor Elektrolit atau disingkat dengan ELCO ini sering dipakai pada Rangkaian Elektronika yang memerlukan Kapasitansi (*Capacitance*) yang tinggi. Kapasitor Elektrolit yang

memiliki Polaritas arah Positif (-) dan Negatif (-) ini menggunakan bahan Aluminium sebagai pembungkus dan sekaligus sebagai terminal Negatif nya. Pada umumnya nilai Kapasitor Elektrolit berkisar dari 0.47µF hingga ribuan mikrofarad (µF). Biasanya di badan Kapasitor Elektrolit (ELCO) akan tertera Nilai Kapasitansi, Tegangan (*Voltage*), dan Terminal Negatif nya. Hal yang perlu diperhatikan, Kapasitor Elektrolit dapat meledak jika polaritas (arah) pemasangan nya terbalik dan melampaui batas kemampuan tegangan nya.

Gambar 58 Kapasitor Elektrolit

6. Kapasitor *Tantalum* (*Tantalum Capacitor*)

   Kapasitor *Tantalum* juga memiliki Polaritas arah Positif (+) dan Negatif (-) seperti halnya Kapasitor Elektrolit dan bahan Isolatornya juga berasal dari Elektrolit. Disebut dengan Kapasitor *Tantalum* karena Kapasitor jenis ini memakai bahan Logam *Tantalum* sebagai Terminal Anoda nya (+). Kapasitor *Tantalum* dapat beroperasi pada suhu yang lebih tinggi dibanding dengan tipe Kapasitor Elektrolit lainnya dan juga memiliki kapasitansi yang besar tetapi dapat di kemas dalam ukuran yang lebih kecil dan mungil. Oleh karena itu, Kapasitor *Tantalum* merupakan jenis Kapasitor yang berharga mahal. Pada umumnya dipakai pada peralatan Elektronika yang berukuran kecil seperti di *Handphone* dan Laptop.

Gambar 59 Kapasitor *Tantalum*

7. Kapasitor *Electrolytic* (*Electrolytic Capacitor*)

   Kapasitor *electrolytic* adalah jenis yang paling populer untuk nilai lebih besar dari sekitar 1 mikrofarad. Kapasitor *electrolytic* dibangun menggunakan lapisan tipis oksida pada aluminium foil. Elektrolit digunakan untuk membuat kontak dengan lempeng lainnya. Kapasitor jenis ini memiliki perbedaan pada

kedua sisinya, maka dalam pemasangan kita harus hati-hati jangan sampai terbalik karena akan mengakibatkan kerusakan bahkan meledak.

Gambar 60 Kapasitor *Electrolytic*

RESISTOR

Resistor merupakan komponen elektronik yang memiliki dua pin dan di desain untuk mengatur tegangan listrik dan arus listrik. Resistor mempunyai nilai resistansi (tahanan) tertentu yang dapat memproduksi tegangan listrik di antara kedua pin dimana nilai tegangan terhadap resistansi tersebut berbanding lurus dengan arus yang mengalir, berdasarkan persamaan hukum Ohm:

$$V = IR$$

$$I = \frac{V}{R}$$

Resistor digunakan sebagai bagian dari rangkaian elektronik dan sirkuit elektronik, dan merupakan salah satu komponen yang paling sering digunakan. Resistor dapat dibuat dari bermacam macam komponen dan film, bahkan kawat resistansi (kawat yang dibuat dari paduan resistivitas tinggi seperti nikel kromium).Karakteristik utama dari resistor adalah resistansi nya dan daya listrik yang dapat dihantarkan. Karakteristik lain termasuk koefisien suhu, derau listrik (*noise*), dan induktansi. Resistor dapat diintegrasikan ke dalam sirkuit hibrida dan papan sirkuit cetak, bahkan sirkuit terpadu. Ukuran dan letak kaki bergantung pada desain sirkuit, kebutuhan daya resistor harus cukup dan disesuaikan dengan kebutuhan arus rangkaian agar tidak terbakar.

Jenis jenis Resistor

Resistor merupakan komponen pasif elektronika yang berfungsi untuk membatasi arus listrik yang mengalir. Berdasarkan kelas nya resistor dibagi menjadi dua yaitu *fixed* resistor dan variabel resistor.

Dan umumnya terbuat dari karbon film atau metal film, tetapi tidak menutup kemungkinan untuk dibuat dari material lain. Dari hukum Ohm diketahui, resistansi berbanding terbalik dengan jumlah arus yang mengalir melaluinya. Satuan resistansi dari suatu resistor disebut Ohm atau dilambangkan dengan simbol Ω (Omega). Tipe resistor yang umum adalah berbentuk tabung dengan dua kaki tembaga di kiri dan kanan. Pada badannya terdapat lingkaran membentuk gelang kode warna untuk memudahkan pemakai mengenali besar resistansi tanpa mengukur besarnya dengan Ohm meter. Kode warna tersebut adalah standar manufaktur yang dikeluarkan oleh EIA (*Electronic Industries Association*) seperti yang ditunjukkan pada tabel berikut. Waktu penulis masuk pendaftaran kuliah elektro, ada satu tes yang harus dipenuhi yaitu diharuskan tidak buta warna. Belakangan baru di ketahui bahwa mahasiswa elektro wajib untuk bisa membaca warna gelang resistor (barangkali).

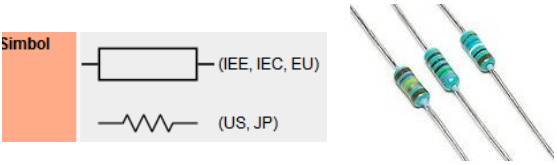
Tabel 2 warna resistor

Warna	Nilai	Faktor Pengali	Toleransi
Hitam	0	1	
Coklat	1	10	1%
Merah	2	100	2%
Jingga	3	1000	
Kuning	4	10.000	
Hijau	5	100.000	
Biru	6	10^6	
Violet	7	10^7	
Abu abu	8	10^8	
Putih	9	10^9	
Emas	-	0.1	5%
Perak	-	0.01	10%
Tanpa warna	-	-	20%

1. ***Fixed* resistor**

   Merupakan resistor yang mempunyai nilai tetap. Ciri fisik dari resistor ini adalah bahan pembuat resistor terdapat di tengah tengah dan pada pinggirnya terdapat 2 *conducting* metal, biasanya kemasan seperti ini disebut dengan *axial*. Ukuran fisik *fixed* resistor bermacam-macam, tergantung pada daya resistor

yang dimilikinya. Misalnya *fixed* resistor dengan daya 5 Watt pasti mempunyai bentuk fisik yang jauh lebih besar dibandingkan dengan *fixed* resistor yang mempunyai daya ¼ Watt.



Gambar 61 *Fixed* Resistor

Penggunaan resistor berdasarkan tipe atau jenisnya :

- *Precision Wire wound Resistor*
  Merupakan tipe resistor yang mempunyai tingkat keakuratan sangat tinggi sampai 0.005% dan TCR (*Temperature Coefficient of Resistance*) sangat rendah. Sehingga sangat cocok digunakan untuk aplikasi DC yang membutuhkan keakuratan yang sangat tinggi. Tetapi jangan menggunakan jenis ini untuk aplikasi rf (radio *frequency*) sebab mempunyai Q *resonant frequency* yang renda

Gambar 62 *Precision Wire wound* Resistor

  Contoh aplikasi penggunaan resistor ini adalah DC *measuring equipment* dan *reference* resistor untuk *voltage* regulator dan *decoding network*.

- NIST *Standard* Resistor
  NIST *(National Institut of Standard and Technology*) Standar resistor merupakan tipe resistor dengan tingkat keakuratan paling tinggi yaitu 0.001%, TCR yang rendah dan sangat stabil dibandingkan dengan *precision wire wound* resistor. Komponen ini biasanya digunakan sebagai standar di dalam verifikasi keakuratan dari suatu alat ukur *resistive*.

- *Power Wire wound* Resistor

Biasanya resistor ini digunakan untuk aplikasi yang membutuhkan daya yang sangat besar. Komponen ini dapat membatasi daya yang besar dibandingkan dengan resistor yang lain. Karena panas yang ditimbulkan cukup besar biasanya resistor ini dilapisi oleh bahan seperti *ceramic tube*, *ceramic rods*, *anodized* aluminium, *fiberglass mandels*, contoh dari *power Wire wound* resistor :

Gambar 63 *Precision* Power *Wire wound* Resistor

- *Fuse* Resistor

  Komponen ini selain berfungsi sebagai resistor, juga berfungsi sebagai sekring. Resistor ini di desain sedemikian rupa sehingga bila ada arus yang sangat besar melaluinya maka hambatan nya menjadi tidak terhingga. Pada kondisi normal suhu dari resistor ini akan panas ketika ada arus yang melaluinya.

Gambar 64 *Fuse* Resistor

- *Carbon Composition*

  Resistor ini memiliki koefisien temperatur dengan batas 1000 ppm/◦C terhadap nilai hambatan nya, dimana nilai hambatan nya akan turun ketika suhunya naik. Selain itu resistor juga memiliki koefisien tegangan, dimana nilai hambatan nya akan berubah ketika diberi tegangan. Semakin besar tegangan maka semakin besar perubahan nya. *Voltage rating* dari resistor *carbon composition* ditentukan berdasarkan ukuran fisik, nilai, dan dayanya.

Gambar 65 *Carbon Composition*

❖ *Carbon* Film Resistor

Resistor jenis karbon film mempunyai karakteristik yang sama dengan *resistor carbon composition* tetapi *temperature coefficient* nilainya lebih rendah. Frekuensi respons dari resistor ini jauh lebih bagus dibandingkan dengan *wire wound* dan lebih bagus lagi dibandingkan dengan *carbon composition*. Dimana *wire wound* akan menjadi suatu induktansi ketika frekuensi nya rendah dan akan menjadi kapasitansi apabila frekuensi nya tinggi. Dan untuk *carbon composition* hanya menjadi kapasitansi apabila dilalui frekuensi tinggi dan frekuensi rendah.

Gambar 66 *Carbon* Film Resistor

❖ Metal Film Resistor

Metal Film Resistor merupakan pilihan terbaik dan jenis resistor *carbon composition* dan *carbon* film. Karena resistor ini lebih akurat, tidak mempunyai *voltage coefficient*, *noise* dan *temperature coefficient* yang lebih rendah. Tetapi resistor ini tidak sebagus jenis resistor *precision wire wound*. Bahan dasar pembuatan dari resistor ini adalah metal dan keramik, bahan ini mirip seperti yang digunakan untuk membentuk karbon film resistor.

Gambar 67 Metal Film Resistor

❖ *Foil* Resistor

Resistor ini mempunyai karakteristik yang sama dengan jenis metal film. Kelebihan utama dibandingkan dengan metal film

adalah tingkat kestabilannya yang lebih tinggi, TCR paling kecil, dan frekuensi respons tinggi. Selain kelebihan terdapat pula kelemahan yaitu nilai maksimum dari resistor ini lebih kecil dari nilai resistor metal film. Resistor ini biasanya dipakai di dalam *stain gauge*, nilai *strain* dapat diukur berdasarkan perubahan nilai resistansi nya. Ketika digunakan sebagai *strain gauge*, *foil* nya dipasang di suatu *substrate* fleksibel sehingga dapat dipasang di daerah tempat pengukuran *strain* dilakukan.

❖ Power Film Resistor

Material yang digunakan untuk membuat resistor ini sama dengan jenis metal film. Tetapi karakteristik dayanya lebih tinggi. Power film resistor mempunyai nilai yang lebih tinggi dan respons frekuensi nya yang lebih baik dibandingkan *power wire would* resistor. Resistor ini banyak digunakan untuk aplikasi *power* karena membutuhkan frekuensi respons yang baik, daya yang tinggi dan nilai yang lebih besar daripada *power wire would* resistor. Biasanya komponen ini memiliki toleransi yang cukup besar.

2. **Variabel resistor**

Untuk kelas resistor yang kedua ini terdapat 2 tipe. Untuk tipe pertama dinamakan *variable* resistor dan nilainya dapat diubah sesuai keinginan dengan mudah dan sering digunakan untuk pengaturan volume, bass, *balance*. Sedangkan yang kedua adalah semi *fixed* resistor. Nilai dari resistor ini biasanya hanya diubah pada kondisi tertentu saja. Contoh penggunaan dari semi *fixed* resistor adalah tegangan referensi yang digunakan untuk ADC, *fine tune circuit*.

Gambar 68 Variabel Resistor

Ada beberapa model pengaturan nilai variabel resistor, yang sering digunakan adalah dengan cara memutar. Perubahan nilai dengan cara memutar biasanya terbatas sampai 300 derajat putaran. Ada beberapa model variabel resistor yang harus diputar berkali-kali untuk mendapatkan semua nilai resistor. Model ini dinamakan "*Potentiometer*" atau "*Trimmer Potentiometer*".

3. CDS (*Cadmium Sulfide Photocell*)

Jenis resistor ini perubahan nilainya tergantung pada banyaknya cahaya yang mengenai dirinya. Biasanya resistor ini juga disebut LDR (*Light Depend* Resistor). Banyak sekali tipe dari komponen ini tergantung pada sensitivitas cahaya, ukuran, nilai hambatan.

Gambar 69 *Cadmium Sulfide Photocell*

Pada gambar diatas, terdapat contoh salah satu bentuk CDS *Photocell*. CDS ini mempunyai diameter 8 mm, tinggi 4 mm, dengan bentuk silinder. Pada kondisi ruangan yang terang nilai hambatan nya adalah 200 Ω, sedangkan saat kondisi ruangan gelap maka nilai hambatan nya 2 MΩ.

4. **Termistor (*Thermally Sensitive* Resistor)**

Resistor ini nilai hambatan nya berubah berdasarkan temperatur dan biasanya digunakan untuk sensor suhu. Ada tiga tipe termistor antara lain :

- NTC (*Negative Temperature Coefficient Thermistor*)
  Pada saat suhu di sekitarnya naik nilai hambatan nya menurun.
- PTC (*Positive Temperature Coefficient Thermistor*)
  Pada saat suhu di sekitarnya naik nilai hambatan nya naik.
- CTR (*Critical Temperature* resistor)
  Nilai hambatan nya akan menurun dengan cepat ketika suhu di sekitarnya naik diatas suhu yang *specific point*.

Gambar 70 Termistor

Mengidentifikasi Nilai Resistor

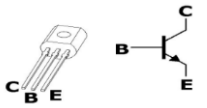
Untuk mengetahui nilai resistansi dari suatu resistor caranya dengan membaca warna dari resistor atau membaca suatu nilai yang tertera pada badan resistor. Untuk resistor dengan 4 warna gelang, 2 pertama adalah nilainya yang ketiga adalah faktor 10^ndan yang keempat adalah toleransi nya. Misalnya gelang pertama adalah merah berarti nilainya = 2, gelang kedua ungu sehingga nilainya = 7, gelang ketiga oranye maka faktor $10^n = 10^3 = 1000$ dan gelang keempat adalah emas berarti toleransi nya = 5%, maka nilai resistansi nya adalah 27000 Ω = 27 KΩ. Untuk perhitungan nilai resistor dengan jumlah gelang 5 dan 6 hampir sama dengan perhitungan nilai resistor pada 4 gelang. Bedanya hanya pada faktor 10^n, dimana untuk jumlah gelang 5 dan 6 terletak pada gelang nomor 4 dan 5. Untuk gelang ke 6 merupakan nilai koefisien suhu dari resistor. Suhu tersebut diukur dalam ppm/◦ C (*Part* Per *Million degree Centigrade*).

Nilai *Standard* Resistor

Electronics Industries Association (EIA), dan beberapa sumber yang lain telah menetapkan suatu nilai standar dari resistor yang biasanya diberi kode E. ada 2 kode yang nilai resistansi nya banyak dijumpai di pasaran yaitu : E12 dan E24. Batas daerah nilai untuk kode E12 ada 12 yaitu : 1.0, 1.2, 1.5, 1.8, 2.2, 2.7, 3.3, 3.9, 4.7, 5.6, 6.8, dan 8.2. kode ini biasanya digunakan pada resistor dengan menggunakan material *carbon film standard*. Nilai maksimum yang ada hanya sampai 10 MΩ

TRANSISTOR

Transistor merupakan komponen aktif yang terbuat dari bahan semikonduktor yang merupakan jenis bahan yang tidak sepenuhnya konduktor atau isolator, namun memiliki sifat keduanya, dan memegang peranan penting dalam suatu rangkaian elektronika. Pada umumnya transistor digunakan sebagai penguat (*amplifier*) dan transistor juga dapat berfungsi sebagai sakelar. Komponen ini termasuk komponen yang susunannya sederhana bila dibandingkan dengan *Integrated Circuit*. Transistor berasal dari kata transfer resistor. Penamaan ini berdasarkan pada prinsip kerjanya yakni mentransfer atau memindahkan arus.



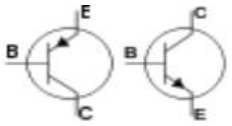
Gambar 71 Transistor

Prinsip Kerja Transistor

Menurut dari prinsip kerjanya transistor dibagi menjadi dua jenis yaitu; Transistor Bipolar (dwi kutub) dan Transistor Efek Medan (FET – *Field Effect Transistor*).

- BJT

  (Bipolar *Junction* Transistor) adalah salah satu dari dua jenis transistor. Cara kerja BJT dapat dibayangkan sebagai dua dioda yang terminal positif atau negatifnya berdempet, sehingga ada tiga terminal. Perubahan arus listrik dalam jumlah kecil pada terminal basis dapat menghasilkan perubahan arus listrik dalam jumlah besar pada terminal kolektor. Prinsip inilah yang mendasari penggunaan transistor sebagai penguat elektronik. Rasio antara arus pada kolektor dengan arus pada basis biasanya dilambangkan dengan β atau h_{FE}. β biasanya berkisar sekitar 100 untuk transistor transistor BJT.



NPN PNP

Gambar 72 lambang rangkaian PNP dan NPN

❖ FET

FET dibagi menjadi dua keluarga: *Junction* FET (JFET) dan *Insulated Gate* FET (IGFET) atau juga dikenal sebagai Metal *Oxide* Silicon (atau *Semiconductor*) FET (MOSFET). Berbeda dengan IGFET, terminal *gate* dalam JFET membentuk sebuah dioda dengan kanal (materi semikonduktor antara *Source* dan *Drain*). Secara fungsinya, ini membuat N *channel* JFET menjadi sebuah versi solid *state* dari tabung vakum, yang juga membentuk sebuah dioda antara *grid* dan katode. Dan juga, keduanya (JFET dan tabung vakum) bekerja di "*depletion* mode", keduanya memiliki impedansi *input* tinggi, dan keduanya menghantarkan arus listrik di bawah kontrol tegangan *input*.

P-Channel N-Channel

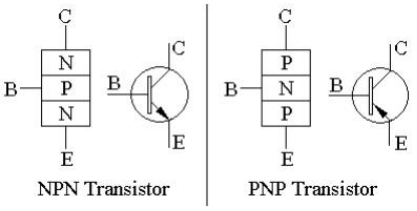
Gambar 73 Channel FET, Kiri: P-Channel, Kanan: N-Channel

FET lebih jauh lagi dibagi menjadi tipe *enhancement* mode dan *depletion* mode. Mode menandakan polaritas dari tegangan *gate* dibandingkan dengan *source* saat FET menghantarkan listrik. Jika kita ambil N *channel* FET sebagai contoh: dalam *depletion* mode, *gate* adalah negatif dibandingkan dengan *source*, sedangkan dalam *enhancement* mode, *gate* adalah positif. Untuk kedua mode, jika tegangan *gate* dibuat lebih positif, aliran arus di antara *source* dan *drain* akan meningkat. Untuk P *channel* FET, polaritas polaritas semua dibalik. Sebagian besar IGFET adalah tipe *enhancement* mode, dan hampir semua JFET adalah tipe *depletion* mode.

Gambar 74 Transistor dua dioda

Pada prinsipnya, suatu transistor terdiri dari atas dua buah dioda yang disatukan. Transistor merupakan komponen elektronika dengan 3 elektrode / kaki, yakni: Basis (B), *collector* (C), dan *Emitor*(E). Tiga material yang umum digunakan sebagai bahan baku pembuat transistor adalah: Germanium (sudah jarang digunakan), Silikon (banyak digunakan), dan *Gallium*. Agar transistor dapat bekerja, kepada kaki-kakinya harus diberikan tegangan, tegangan ini dinamakan *bias voltage.* Basis emitor diberikan *forward voltage*, sedangkan basis kolektor diberikan *reverse voltage*. Sifat transistor adalah bahwa antara kolektor dan emitor akan ada arus (transistor akan menghantar) bila ada arus basis. Makin besar arus basis makin besar penghantarnya.

Suatu arus listrik yang kecil pada basis akan menimbulkan arus yang jauh yang lebih besar di antara kolektor dan emitor nya, maka dari itu transistor digunakan untuk memperkuat arus.



Gambar 75 Rangkaian Transistor

Terdapat dua jenis transistor ialah jenis NPN dan PNP. Pada transistor jenis NPN tegangan basis dan kolektor nya positif terhadap emitor, sedangkan pada transistor PNP tegangan basis dan kolektor nya negatif terhadap tegangan emitor.

Transistor dapat dipergunakan antara lain untuk:
- Sebagai penguat arus, tegangan dan daya (AC dan DC)
- Sebagai penyearah
- Sebagai *mixer*
- Sebagai osilator
- Sebagai *switch*

Kerusakan-kerusakan yang sering terjadi pada transistor:
- Adanya pemutusan hubungan dari rangkaian elektronik
- Terjadi korsleting / hubung singkat antar elektroda transistor
- Terjadi kebocoran di antara elektroda elektroda transistor

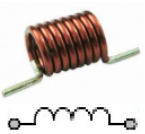
Penyebab terjadinya kerusakan pada sebuah transistor:

- Penanganan yang tidak tepat saat pemasangan pada rangkaian
- Transistor terlalu panas karena suhunya melebihi batas maksimal kemampuannya. Bagi transistor dari bahan *Germanium*, suhu maksimal ± 75° C sedang transistor silikon suhu maksimal mencapai ± 150° C.
- Kesalahan pengukuran.
- Pemasangan yang salah pada rangkaian.

INDUKTOR

Sebuah induktor atau reaktor adalah sebuah komponen elektronika pasif (kebanyakan berbentuk torus) yang dapat menyimpan energi pada medan magnet yang ditimbulkan oleh arus listrik yang melintasi nya. Kemampuan induktor untuk menyimpan energi magnet ditentukan oleh induktansinya, dalam satuan Henry. Biasanya sebuah induktor adalah sebuah kawat pengantar yang dibentuk menjadi kumparan, lilitan membantu membuat medan magnet yang kuat di dalam kumparan dikarenakan hukum induksi Faraday. Induktor adalah salah satu komponen elektronik dasar yang digunakan dalam rangkaian yang arus dan tegangan nya berubah-ubah dikarenakan kemampuan induktor untuk memproses arus bolak balik. Sebuah induktor ideal memiliki induktansi, tetapi tanpa resistansi atau kapasitansi, dan tidak memboroskan daya. Sebuah induktor pada kenyataannya merupakan gabungan dari induktansi, beberapa resistansi karena resistivitas kawat, dan beberapa kapasitansi. Pada suatu frekuensi, induktor dapat menjadi sirkuit resonansi karena kapasitas parasit nya. Selain memboroskan daya pada resistansi kawat, induktor berinti magnet juga memboroskan daya di dalam inti karena efek *histerisis*, dan pada arus tinggi mungkin mengalami nonlinearitas karena penjenuhan.

Gambar 76 Induktor



Gambar 77 lambang induktor

Arus yang mengalir pada induktor akan menghasilkan fluks magnetik (φ) yang membentuk *loop* yang melingkupi kumparan. Jika ada N Lilitan, maka total fluks adalah :

Tabel 3 Rumus dan besaran SI

Konstruksi	Rumus	Besaran (SI)
Lilitan silinder	$\frac{\mu_0 K N^2 \pi r^2}{l}$	L = Induktansi μ_0 = Permeabilitas vakum K = Koefisien Nagaoka N = jumlah lilitan r = jari jari lilitan l = Panjang lilitan
Kawat lurus	$L = 200\, l \left(ln \frac{4l}{d} - 1 \right) 10^{-9}$	L = induktansi l = Panjang kawat d = diameter kawat
Lilitan silinder pendek berinti udara	$L = \frac{r^2 N^2}{9r + 10\, l}$	L= induktansi (µH) r = jari jari lilitan (in) l = Panjang lilitan (in) N = jumlah lilitan
Lilitan berlapis lapis berinti udara	$L = \frac{0.8\, r^2 N^2}{6r + 9r + 10\, d}$	L= induktansi (µH) r = rerata jari jari lilitan (in) l = Panjang lilitan (in) N = jumlah lilitan d = tebal lilitan (in)
Lilitan spiral datar berinti udara	$L = \frac{r^2 N^2}{(2r + 2.8d)10^5}$	L= induktansi (µH) r = rerata jari jari spiral (in) N = jumlah lilitan d = tebal lilitan (in)
Inti toroid	L= $\mu 0 \mu r \frac{N^2 r^2}{D}$	L= induktansi (µH) µ0 = permeabilitas vakum µr = permeabilitas relatif bahan inti N = jumlah lilitan

		r = jari jari gulungan D = diameter keseluruhan

Jenis jenis lilitan

- Lilitan ferit sarang madu

  Lilitan sarang madu dililit dengan cara bersilangan untuk mengurangi efek kapasitansi terdistribusi. Ini sering digunakan pada rangkaian tala pada penerima radio dalam jangka gelombang menengah dan gelombang panjang. Karena konstruksi nya, induktansi tinggi dapat dicapai dengan bentuk yang kecil.

- Lilitan inti toroid

  Sebuah lilitan sederhana yang dililit dengan bentuk silinder menciptakan medan magnet eksternal dengan kutub utara selatan. Sebuah lilitan toroid dapat dibuat dari lilitan silinder dengan menghubungkannya menjadi berbentuk donat, sehingga menyatukan kutub utara dan selatan. Pada lilitan toroid, medan magnet ditahan pada lilitan. Ini menyebabkan lebih sedikit radiasi magnetik dari lilitan, dan kekebalan dari medan magnet eksternal.

INTEGRATED CIRCUIT

Integrated Circuit (IC) adalah suatu komponen elektronik yang dibuat dari bahan semi *conductor*, dimana IC merupakan gabungan dari beberapa komponen seperti Resistor, Kapasitor, Dioda dan Transistor yang telah ter integrasi menjadi sebuah rangkaian berbentuk *chip* kecil, IC digunakan untuk beberapa keperluan pembuatan peralatan elektronik agar mudah dirangkai menjadi peralatan yang berukuran relatif kecil. Sebelum adanya IC, hampir seluruh peralatan elektronik dibuat dari satuan satuan komponen(individual) yang dihubungkan satu sama lainnya menggunakan kawat atau kabel, sehingga tampak mempunyai ukuran besar serta tidak praktis. IC telah digunakan secara luas di berbagai bidang, salah satunya di bidang industri Dirgantara, dimana rangkaian kontrol elektronik nya akan semakin ringkas dan kecil sehingga dapat mengurangi berat Satelit, Misil dan jenis-jenis

pesawat ruang angkasa lainnya. Desain komputer yang sangat kompleks dapat dipermudah, sehingga banyaknya komponen dapat dikurangi dan ukuran *motherboardnya* dapat diperkecil. Contoh lain misalnya IC digunakan di dalam mesin penghitung elektronik(kalkulator), juga telepon seluler(ponsel) yang bentuknya relatif kecil. Di era teknologi canggih saat ini, peralatan elektronik dituntut agar mempunyai ukuran dan beratnya seringan dan sekecil mungkin, dan hal itu dapat dimungkinkan dengan penggunaannya IC. Selain ukuran dan berat IC yang kecil dan ringan, IC juga memberikan keuntungan lain yaitu bila dibandingkan dengan sirkuit sirkuit konvensional yang banyak menggunakan komponen, IC dengan sirkuit yang relatif kecil hanya mengkonsumsi sedikit sumber tenaga dan tidak menimbulkan panas berlebih sehingga tidak membutuhkan pendinginan (*cooling system*)

Gambar 78 ***Integrated Circuit***

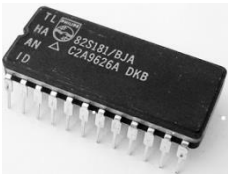
IC adalah komponen yang dipakai sebagai otak peralatan elektronika.

Jenis jenis IC

1. TTL*(Transistor transistor Logic)*

   IC yang paling banyak digunakan secara luas saat ini adalah IC digital yang dipergunakan untuk peralatan komputer, kalkulator dan sistem kontrol elektronik. IC digital bekerja dengan dasar pengoperasian bilangan Biner *Logic*(bilangan dasar 2) yaitu hanya mengenal dua kondisi saja 1(on) dan 0(off).Jenis IC digital terdapat 2(dua) jenis yaitu TTL dan CMOS. Jenis IC TTL dibangun dengan menggunakan transistor sebagai komponen utamanya dan fungsinya dipergunakan untuk berbagai variasi *Logic*, sehingga dinamakan Transistor. Transistor *Logic* Dalam satu kemasan IC terdapat beberapa macam *gate*(gerbang) yang dapat melakukan berbagai macam fungsi *logic* seperti AND,NAND,OR,NOR,XOR serta beberapa

fungsi *logic* lainnya seperti *Decoder*, *Encoder*, *Multiplexer* dan *Memory* sehingga pin (kaki) IC jumlahnya banyak dan bervariasi ada yang 8,14,16,24 dan 40. Pada gambar diperlihatkan IC dengan gerbang NAND yang mengeluarkan *output* 0 atau 1 tergantung kondisi kedua *input* nya. IC TTL dapat bekerja dengan diberi tegangan 5 Volt.



Gambar 79 IC TTL

2. IC CMOS

Selain TTL, jenis IC digital lainnya adalah C-MOS (*Complementary with* MOSFET) yang berisi rangkaian yang merupakan gabungan dari beberapa komponen MOSFET untuk membentuk *gate gate* dengan fungsi *logic* seperti halnya IC TTL. Dalam satu kemasan IC C-MOS dapat berisi beberapa macam *gate*(gerbang) yang dapat melakukan berbagai macam fungsi *logic* seperti AND,NAND,OR,NOR,XOR serta beberapa fungsi *logic* lainnya seperti *Decoders*, *Encoders*, *Multiplexer* dan *Memory*. Pada gambar diperlihatkan IC dengan gerbang NOR yang mengeluarkan *output* 0 atau 1 tergantung kondisi kedua *input* nya. IC C-MOS dapat bekerja dengan tegangan 12 Volt.

Gambar 80 IC CMOS

3. IC Linier

Perbedaan utama dari IC Linear dengan Digital ialah fungsinya, dimana IC digital beroperasi dengan menggunakan sinyal kotak (*square*) yang hanya ada dua kondisi yaitu 0 atau 1 dan berfungsi sebagai *switch*/sakelar, sedangkan IC linear pada umumnya menggunakan sinyal *sinusoida* dan berfungsi sebagai

amplifier(penguat). IC linear tidak melakukan fungsi *logic* seperti halnya IC TTL maupun C-MOS dan yang paling populer IC linier di desain untuk dikerjakan sebagai penguat tegangan. Dalam kemasan IC linier terdapat rangkaian linier, dimana kerja rangkaiannya akan bersifat proporsional atau akan mengeluarkan *output* yang sebanding dengan *input* nya. Salah satu contoh IC linear adalah jenis Op Amp.

Gambar 81 IC Linier

Fungsi IC

Seperti yang telah dibahas, bahwa fungsi dari komponen IC sangatlah bermacam-macam tergantung komponen penyusun nya. Namun jika dilihat dari fungsinya, IC dapat diklasifikasikan menjadi 2 jenis, yakni IC linier dan IC digital. Berikut adalah beberapa fungsi dari IC linier dan IC digital.

1. Fungsi IC Linier
   - Penguat Daya (*Amplifier*)
   - Penguat Operasional (Op Amp)
   - Penguat Sinyal (*Signal Amplifier*)
   - Penguat Sinyal Mikro (*Microwave Amplifier*)
   - Penguat RF dan IF
   - *Multiplier*
   - *Voltage Comparator*
   - Regulator Tegangan (*Voltage* Regulator)
   - Penerima Frekuensi Radio
2. Fungsi IC Digital
   - Gerbang Logika
   - *Flip-flop*
   - *Timer*
   - *Counter*
   - *Clock*
   - *Multiplexer*

- *Memory*
- *Calculator*
- *Microcontroller*
- Mikroprosesor

Piranti elektronika merupakan rangkaian elemen aktif seperti transistor dikombinasikan dengan komponen lain seperti resistor, kapasitor dan induktor. Secara praktis masing-masing komponen dapat di produksi secara terpisah (*diskrit*) kemudian dirangkaikan dengan menghubungkannya dengan kawat logam. Konsep dasar ini tetap digunakan dalam sistem elektronika-mikro seperti telah di realisasi dalam bentuk IC. Perbedaannya adalah bahwa semua komponen dan interkoneksi antar komponen dibuat dalam satu permukaan substrat. Termasuk elemen pasif dalam elektronika adalah resistor, kapasitor dan induktor. Masing-masing komponen memiliki kemampuan sesuai dengan fungsinya yang masing masing diukur sebagai resistansi, kapasitansi dan induktansi.

Resistansi : Menunjukkan besarnya energi yang terdesipasi[3] oleh elektron saat mereka bergerak melalui struktur atom konduktor. Dalam bentuk diskrit resistor terbuat dari karbon atau bahan lain yang bukan pengantar yang baik. Dalam elektronik mikro resistor merupakan lapisan tipis suatu tipe semikonduktor dikelilingi oleh semikonduktor tipe lain.

Kapasitansi : Merupakan ukuran energi yang tersimpan dalam medan listrik yang mengelilingi muatan konduktor. Kapasitor diskrit terbuat dari dua keping konduktor yang dipisahkan oleh bahan isolator. Pada elektronika-mikro kapasitor dibuat pada permukaan kristal semikonduktor dilapisi isolator tipis kemudian di atasnya dibuat lapisan logam.

Induktansi : Merupakan ukuran energi yang disimpan dalam medan magnet yang di kontrol oleh arus listrik. Induktor diskrit dibuat dari kumparan kawat dan di dalamnya kadang-kadang diisi dengan bahan

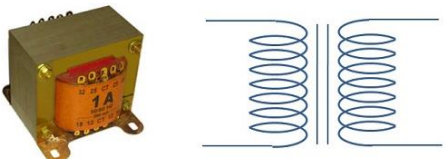
[3] Disipasi adalah hilangnya energi mekanik karena gesekan atau gaya mirip gesekan. Arti lainnya dari disipasi adalah hilangnya sebagian dari energi sinaran pada interaksi cahaya-materi sehingga bagian ini tidak dapat diubah menjadi energi bermanfaat.

feromagnetik. Belum ada induktor yang baik pada elektronika mikro.

Skema komponen pasif diskrit dan pada elektronika-mikro disertai dengan simbol dan isyarat arus sebagai respons dari tegangan yang diberikan.

TRANSFORMATOR

Transformator atau sering disingkat dengan istilah Trafo adalah suatu alat listrik yang dapat mengubah taraf suatu tegangan AC ke taraf yang lain. Maksud dari pengubahan taraf tersebut diantaranya seperti menurunkan Tegangan AC dari 220VAC ke 12 VAC atau pun menaikkan Tegangan dari 110VAC ke 220 VAC. Transformator atau Trafo ini bekerja berdasarkan prinsip Induksi Elektromagnet dan hanya dapat bekerja pada tegangan yang ber arus bolak balik (AC).Transformator (Trafo) memegang peranan yang sangat penting dalam pendistribusian tenaga listrik. Transformator menaikkan listrik yang berasal dari pembangkit listrik PLN hingga ratusan kilo Volt untuk di distribusikan, dan kemudian Transformator lainnya menurunkan tegangan listrik tersebut ke tegangan yang diperlukan oleh setiap rumah tangga maupun perkantoran yang pada umumnya menggunakan Tegangan AC 220Volt.



Gambar 82 Bentuk Trafo dan simbol

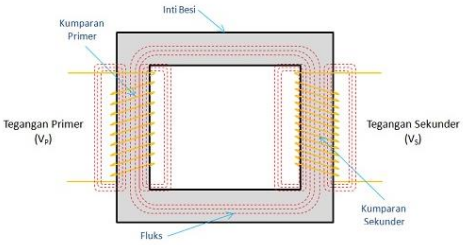
Prinsip kerja transformator

Sebuah Transformator yang sederhana pada dasarnya terdiri dari 2 lilitan atau kumparan kawat yang ter isolasi yaitu kumparan primer dan kumparan sekunder. Pada kebanyakan Transformator, kumparan kawat ter isolasi ini dililitkan pada sebuah besi yang dinamakan dengan Inti Besi (*Core*). Ketika kumparan primer dialiri

arus AC (bolak balik) maka akan menimbulkan medan magnet atau fluks magnetik di sekitarnya. Kekuatan Medan magnet (densitas Fluks Magnet) tersebut dipengaruhi oleh besarnya arus listrik yang dialiri nya. Semakin besar arus listriknya semakin besar pula medan magnet nya. Fluktuasi medan magnet yang terjadi di sekitar kumparan pertama (primer) akan menginduksi GGL (Gaya Gerak Listrik) dalam kumparan kedua (sekunder) dan akan terjadi pelimpahan daya dari kumparan primer ke kumparan sekunder. Dengan demikian, terjadilah pengubahan taraf tegangan listrik baik dari tegangan rendah menjadi tegangan yang lebih tinggi maupun dari tegangan tinggi menjadi tegangan yang rendah. Sedangkan Inti besi pada Transformator atau Trafo pada umumnya adalah kumpulan lempengan lempengan besi tipis yang ter isolasi dan ditempel berlapis-lapis dengan kegunaannya untuk mempermudah jalannya Fluks Magnet yang ditimbulkan oleh arus listrik kumparan serta untuk mengurangi suhu panas yang ditimbulkan.

Gambar 83 Adaptor AC-DC merupakan Piranti yang menggunakan transformator *step down*

Rasio lilitan pada kumparan sekunder terhadap kumparan primer menentukan rasio tegangan pada kedua kumparan tersebut. Sebagai contoh, 1 lilitan pada kumparan primer dan 10 lilitan pada kumparan sekunder akan menghasilkan tegangan 10 kali lipat dari tegangan *input* pada kumparan primer. Jenis Transformator ini biasanya disebut dengan Transformator *Step Up*. Sebaliknya, jika terdapat 10 lilitan pada kumparan primer dan 1 lilitan pada kumparan sekunder, maka tegangan yang dihasilkan oleh Kumparan Sekunder adalah 1/10 dari tegangan *input* pada Kumparan Primer. Transformator jenis ini disebut dengan Transformator *Step Down*.



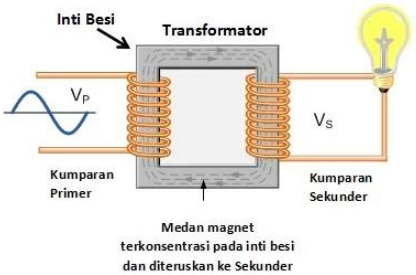
Gambar 84 Fluks pada Trafo

Transformator bekerja dengan memanfaatkan elektromagnetik induksi sesuai hukum faraday dan hukum Lorentz :

Hukum Faraday : "*Gaya listrik yang melalui garis lengkung tertutup berbanding lurus dengan perubahan arus induksi persatuan waktu pada garis lengkung tersebut, sehingga apabila ada suatu arus yang melalui sebuah kumparan maka akan timbul medan magnet pada kumparan tersebut*"

Hukum Lorentz: "*Arus bolak balik (AC) yang beredar mengelilingi inti besi mengakibatkan inti besi tersebut berubah menjadi magnet, apabila magnet tersebut dikelilingi oleh suatu lilitan maka lilitan tersebut akan memiliki perbedaan tegangan pada kedua ujung lilitan nya*"

Hukum Lorentz ini juga yang menjelaskan bagaimana prinsip kerja trafo *step up* dan step *down*, seperti gambar di bawah ini

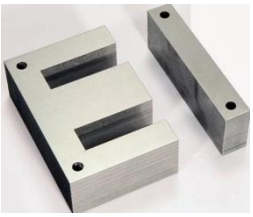


Gambar 85 hukum Lorentz pada trafo

Bagian bagian Trafo

1. Inti Trafo

Inti trafo bias terbuat dari beberapa jenis bahan, bahan udara juga bias dijadikan sebagai inti trafo, namun umumnya yang dijadikan ini trafo adalah berupa besi. Fungsi inti besi ini sendiri yaitu untuk mempermudah jalannya *flux*/medan magnet yang timbul saat *coil*/kumparan diberi arus listrik. Yang paling banyak digunakan adalah terbuat dari lempengan besi biasa disebut juga *Kem* yang disusun sedemikian rupa.

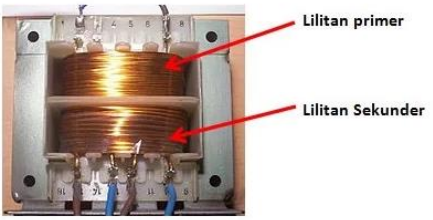


Gambar 86 Inti trafo

Penggunaan besi sebagai inti trafo juga memberikan keuntungan yaitu agar panas dari lilitan tembaga tidak terbakar karena terjadi *overheat*

2. Kumparan Trafo /*Coil*/Lilitan

lilitan pada trafo umumnya terpisah yaitu dibagi menjadi lilitan primer dan sekunder, umumnya menggunakan kabel tembaga yang ter isolasi dengan platina atau bahan lainnya. Ukuran kawat pada lilitan primer umumnya selalu lebih kecil dengan jumlah lilitan yang lebih banyak, sementara di lilitan sekunder memiliki ukuran diameter kawat yang lebih besar dengan jumlah lilitan yang sedikit. Kapasitas dari sebuah trafo sangat ditentukan dari ukuran kawat diameter lilitan nya.



Gambar 87 lilitan trafo

Bila pada trafo yang kapasitas besar, bagian lilitan atau kumparan direndam dalam sejenis minyak/oli yang berfungsi untuk mempermudah pemindahan panas dari kawat tembaga.

Jenis jenis Transformator

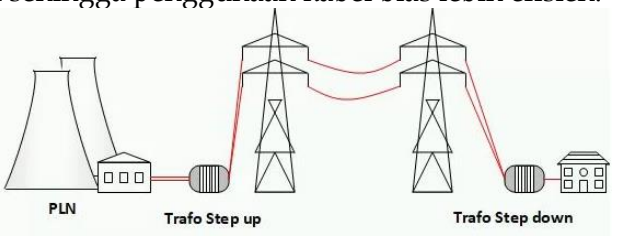
Trafo merupakan komponen elektronika yang mengubah tegangan naik menjadi turun dan sebaliknya, jika dibedakan berdasarkan penggunaan secara umum, maka bias dibedakan antara lain:

1. Trafo Daya

   Trafo daya atau transformator daya adalah jenis trafo yang berfungsi untuk mengalirkan daya listrik dari tegangan rendah ke tinggi atau sebaliknya untuk keperluan mendistribusikan listrik ke konsumen, trafo daya biasanya digunakan oleh perusahaan listrik (PLN) untuk mengalirkan listrik ke rumah rumah. Hal ini diperlukan karena jarak yang jauh tidak efisien mengalirkan arus listrik yang besar karena akan terjadi rugi daya.

Gambar 88 Trafo daya

Dengan demikian maka fungsi transformator penaik tegangan pada proses penyalur energi listrik adalah untuk menaikkan tegangan yang akan di distribusikan ke jaringan distribusi primer lainnya sehingga penggunaan kabel bias lebih efisien.



Gambar 89 ilustrasi penggunaan trafo daya

2. Trafo IF

Trafo IF atau trafo *Intermediate Frequency*, sesuai Namanya digunakan untuk penguat frekuensi menengah yaitu 10,7 Mhz. yang biasanya digunakan pada radio penerima baik AM atau FM, trafo ini digunakan pada radio konvensional

Gambar 90 Trafo IF

3. Trafo Adaptor / *Power Supply*

   Trafo adaptor atau *power supply* berfungsi untuk mengubah tegangan dari arus AC ke arus DC, jenis ini banyak digunakan dengan pilihan tegangan dan arus yang bervariasi. Trafo yang digunakan pada adaptor termasuk jenis *step down* yaitu yang berfungsi untuk menurunkan tegangan dari listrik PLN ke perangkat elektronika sesuai kebutuhan.

Gambar 91 Trafo Adaptor

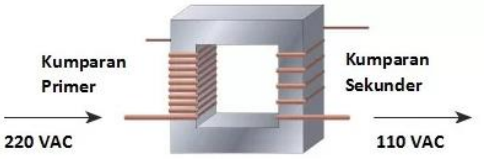
4. Trafo OT
   Trafo OT digunakan umumnya untuk penguat di perangkat audio seperti *speaker* TOA dan *receiver*, dengan penyesuaian yang tepat, sistem akan mampu menghasilkan suara secara maksimal dan mampu menjaga keamanan *amplifier* maupun *speaker* yang digunakan. Selain itu, keseimbangan setiap *speaker* juga dapat diatur menggunakan metode pemasangan *matching*, hal ini banyak diterapkan pada rumah *wallet* dan ruang sekolah

Trafo berdasarkan lilitan

1. Transformator *Step Down*

   Trafo *step down* adalah trafo yang berfungsi untuk menurunkan tegangan dari primer ke sekunder. Sehingga tegangan di

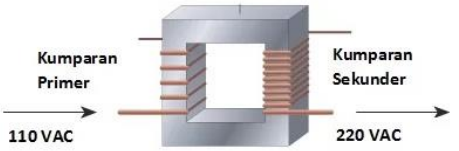
sekunder lebih kecil, yang berarti jumlah lilitan di primer lebih banyak (Np > Ns). Contohnya adalah trafo yang berfungsi menurunkan tegangan dari 220 VAC menjadi 110 VAC ditemukan adalah peralatan impor dari Indonesia yang tegangan nya bekerja antara 110-120 VAC sementara jika dihubungkan langsung ke stop kontak PLN rumah bias merusak karena perbedaan tegangan yang cukup besar.



Gambar 92 Trafo *Step Down*

2. Transformator *Step Up*

Trafo *step up* adalah trafo yang berfungsi menaikkan tegangan dari tegangan primer ke sekunder nya sehingga jumlah lilitan di bagian primer lebih sedikit (Ns > Np). Trafo *step up* banyak digunakan di semua jenis UPS yang merupakan sebuah *backup*/cadangan ketika listrik PLN mati yaitu dengan memanfaatkan baterai aki kering yang dikombinasikan dengan osilator tak stabil sehingga bias mengonversi dari DC ke AC.



Gambar 93 Trafo *Step Up*

3. Auto transformator

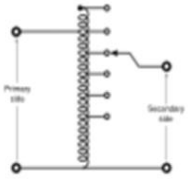
Transformator jenis ini hanya terdiri dari satu lilitan yang berlanjut secara listrik, dengan sadapan tengah. Dalam transformator ini, sebagian lilitan primer juga merupakan lilitan sekunder. Fasa arus dalam lilitan sekunder selalu berlawanan dengan arus primer, sehingga untuk tarif daya yang sama lilitan sekunder bisa dibuat dengan kawat yang lebih tipis dibandingkan transformator biasa. Keuntungan dari *autotransformator* adalah ukuran fisiknya yang kecil dan

kerugian yang lebih rendah daripada jenis dua lilitan. Tetapi transformator jenis ini tidak dapat memberikan isolasi secara listrik antara lilitan primer dengan lilitan sekunder. Selain itu, *autotransformator* tidak dapat digunakan sebagai penaik tegangan lebih dari beberapa kali lipat (biasanya tidak lebih dari 1,5 kali).

Gambar 94 Trafo *Auto Transformator*

4. Auto transformator Variabel

   Auto transformator variabel sebenarnya adalah auto transformator biasa yang sadapan tengahnya bisa diubah ubah, memberikan perbandingan lilitan primer sekunder yang berubah ubah.



Gambar 95 Trafo *Auto Transformator Variabel*

5. Transformator Isolasi
   Transformator isolasi memiliki lilitan sekunder yang berjumlah sama dengan lilitan primer, sehingga tegangan sekunder sama dengan tegangan primer. Tetapi pada beberapa desain, gulungan sekunder dibuat sedikit lebih banyak untuk mengkompensasi kerugian. Transformator seperti ini berfungsi sebagai isolasi antara dua kalang. Untuk penerapan audio, transformator jenis ini telah banyak digantikan oleh kopling kapasitor.

6. Transformator Pulsa
   Transformator pulsa adalah transformator yang di desain khusus untuk memberikan keluaran gelombang pulsa.

Transformator jenis ini menggunakan material inti yang cepat jenuh sehingga setelah arus primer mencapai titik tertentu, fluks magnet berhenti berubah. Karena GGL induksi pada lilitan sekunder hanya terbentuk jika terjadi perubahan fluks magnet, transformator hanya memberikan keluaran saat inti tidak jenuh, yaitu saat arus pada lilitan primer berbalik arah.

Rumus menghitung lilitan Trafo

$$\frac{N_p}{N_S} = \frac{V_P}{V_S} = \frac{I_S}{I_P}$$

Dimana :
Np = Jumlah lilitan (kumparan) primer
Ns = Jumlah lilitan (kumparan) sekunder
Vp = tegangan pada kumparan primer (masukan)
Vs = tegangan pada kumparan sekunder (keluaran)
Ip = Arus pada kumparan primer
Is = Arus pada kumparan sekunder

Rumus efisiensi Trafo

$$\eta = \frac{V_s \cdot I_s}{V_P \cdot I_P} \text{ x } 100\%$$

dimana :
η = efisiensi trafo
V_s = tegangan sekunder
I_s = arus sekunder
V_p = tegangan primer
I_p = arus primer

Bahan diskusi dan Tugas

1. Jelaskan dengan singkat yang membedakan secara mendasar rangkaian 3 fase dan 1 fase
2. Jelaskan secara singkat cara menghubungkan diode ke sumber tegangan!
3. Apa yang Anda ketahui resistor, transistor induktor dan IC?
4. Apa yang Anda ketahui mengenai Transformator dan prinsip kerjanya, berikan 2 contoh!
5. Apa yang ada ketahui tentang kapasitansi, induktansi dan resistansi !

BAB 4

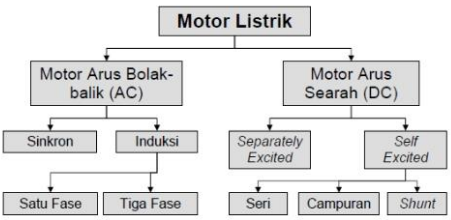
Aktuator Elektrik

AKTUATOR ELEKTRIK

Penggerak, dalam pengertian listrik adalah setiap alat yang mengubah energi listrik menjadi gerakan mekanis. Biasa digunakan sebagai proses lanjutan dari keluaran suatu proses olah data yang dihasilkan oleh suatu sensor atau kontroler. Aktuator Adalah perangkat elektro mekanik yang menghasilkan daya gerakan. Dapat dibuat dari sistem motor listrik/motor DC (permanen magnet, *brush less*, motor DC *servo*, motor DC *stepper*, solenoid), sistem pneumatik (perangkat kompresi berbasis udara atau gas nitrogen), dan perangkat hidrolik (berbasis bahan cair seperti oli). Untuk meningkatkan tenaga mekanik aktuator atau torsi gerakan dapat dipasang sistem *gearbox*, baik sistem *direct gear* (sistem lurus, sistem *ohmic/worm gear*), *sprochet chain* (gir rantai, gir belt, atau pun sistem *wire roller*. Beberapa jenis aktuator berdasarkan kategori tenaganya antara lain:

- Aktuator tenaga elektris, biasanya digunakan solenoid, motor arus searah. sifat mudah diatur dengan torsi kecil sampai sedang.
- Aktuator tenaga hidrolik. torsi yang besar konstruksi nya sukar
- Aktuator tenaga pneumatik. sukar dikendalikan
- Aktuator Lainnya : *piezoelectric, magnetic, ultra sound*

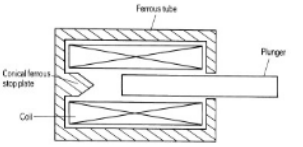
Yang dimaksud dengan aktuator elektrik merupakan aktuator yang mengubah energi listrik menjadi energi gerak dengan menggunakan prinsip elektro magnet. Ada beberapa macam aktuator elektrik yang linier dan rotasi, diantaranya:



Gambar 96 Bagan motor listrik

1. Solenoid

Solenoid merupakan aktuator linier, biasanya digunakan untuk Gerakan *short* stroke (pukulan pendek). Solenoid terbuat dari lilitan tembaga, *plunger*, dan cangkang besi. Alat ini digunakan untuk mengubah sinyal listrik atau arus listrik menjadi gerakan mekanis linear



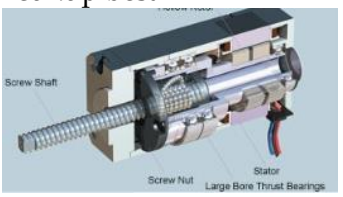
Gambar 97 Konstruksi Solenoid

Untuk menghemat penggunaan energi, biasanya solenoid menggunakan pegas untuk membalikkan posisi *plunger* dalam keadaan awal

Gambar 98 Bentuk fisik Solenoid

2. *Motor and ball screw*

Merupakan aktuator linier menggunakan *electric motor,* seperti *servomotor* dan screw *jack* dengan bola yang bersirkulasi ulang (*recirculating*). Salah satu keunggulan dari aktuator jenis ini adalah gaya yang dihasilkan cukup besar



Gambar 99 *Motor and ball screw*

3. *Motor and lead screw*

Memiliki cara kerja yang sama dengan *motor and ball screw*, perbedaannya terletak pada pergeseran lebih tinggi yang dihasilkan pada *screw*. Aktuator jenis ini memiliki efisiensi yang kurang bagus, sekitar di bawah 25%

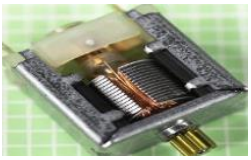
Gambar 100 ***Motor and lead screw***

Aktuator elektrik yang Rotasi memiliki jenis jenis yaitu antara lain:

1. Motor DC

Motor DC adalah alat yang mengubah energi listrik menjadi gerak, mempunyai prinsip dasar yang sama dengan motor *stepper* namun gerakannya bersifat kontinu atau berkelanjutan. Motor DC dibagi menjadi jenis yaitu; Motor DC dengan sikat (mekanis komutasi[4]), yaitu motor yang memiliki sikat karbon berfungsi sebagai pengubah arus pada kumparan sedemikian rupa sehingga arah tenaga putaran motor akan selalu sama. Motor DC tanpa sikat, menggunakan semi konduktor untuk merubah maupun membalik arus sehingga layaknya pulsa yang menggerakkan motor tersebut. Biasa digunakan pada sistem servo, karena mempunyai efisiensi tinggi, umur pemakaian lama, tingkat kebisingan suara listrik rendah, karena putarannya halus seperti *stepper* dan putarannya terus menerus tanpa adanya step.

Ada dua bagian terpenting pada motor DC yaitu Rotor bagian yang bergerak dan Stator bagian yang tak bergerak. Konstruksi sederhana motor DC cara kerja dari sebuah DC Motor adalah dengan mengalirkan arus melalui *brushes*, yang kemudian diterima oleh *commutator* sehingga menghasilkan medan magnet pada *coil*. Perbedaan polaritas antara gaya magnet dengan *coil*, menyebabkan rotor bergerak

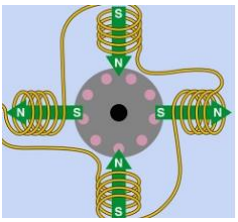


Gambar 101 Motor DC

[4] Komutasi adalah perpindahan yang sifatnya sementara pada waktu yang sama pula

2. Motor AC

Motor AC merupakan motor yang bergerak menggunakan sumber arus AC. Memiliki bagian yang sama dengan motor DC, yakni stator dan rotor, akan tetapi memiliki cara kerja yang berbeda. Perbedaannya yang yang mendasar ada pada bagian lilitannya (stator)



Gambar 102 Lilitan motor AC

Arus AC mengalir melalui satu atau lebih lilitan pada stator, menghasilkan medan magnet berfluktuasi yang akan Tarik menarik dengan rotor, sehingga rotor dapat bergerak.

Gambar 103 Motor AC

Bila sumber listrik tiga Phasa ada, maka pada umumnya motor induksi AC tiga Phasa digunakan, khususnya untuk motor bertenaga besar. Perbedaan Phasa pada listrik tiga pasal memberikan medan elektromagnetik berputar pada motor. Melalui induksi elektromagnetik, medan magnet berputar menginduksikan arus dalam konduktor dari rotor, yang pada gilirannya menset sebuah *counterbalancing* medan magnet yang menyebabkan rotor berputar pada arah putaran medan magnet. Rotor harus selalu berputar lebih lambat dari medan magnet yang berputar yang dihasilkan oleh suplai listrik tiga Phasa bila tidak, maka tidak akan dihasilkan medan *counterbalance* pada rotor. Motor induksi merupakan motor penggerak di industri, dan motor dengan daya sekitar 500 kW (670 Hp) di produksi dengan ukuran *frame* berstandar tinggi. Motor bertenaga lebih besar dari 10 hingga ribuan

kW, untuk *compressor pipeline*, penggerak terowongan angin dan sistem konveyor. Ada dua jenis rotor yang digunakan pada motor induksi yaitu rotor sangkar (*squirrel cage rotor*) dan rotor belitan (*wound rotor*)

- *Rotor sangkar*

  Kebanyakan motor AC menggunakan rotor sangkar, yang sering ditemukan pada motor motor AC untuk keperluan rumah tangga dan industri kecil. Rotor sangkar tersusun oleh sebuah ring pada ujung ujung rotor, dengan batang batang penghubung ring sepanjang rotor. Biasanya coran aluminium atau tembaga di antara lapisan besi dari rotor, dan biasanya hanya ring *ring* ujungnya yang kelihatan. Motor dengan efisiensi tinggi biasanya menggunakan tembaga cor untuk mengurangi tahanan pada rotor. Dalam pengoperasiannya, motor sangkar dapat dilihat sebagai sebuah *transformer* dengan sebuah putaran sekunder bila rotor tidak berputar serempak dengan medan magnet, arus rotor yang tinggi diinduksikan, arus rotor yang besar memagnetkan rotor dan berinteraksi dengan medan magnet stator untuk membawa rotor pada keserempakan dengan medan stator. Sebuah motor sangkar tanpa beban pada kecepatan serempak akan mengonsumsi daya listrik hanya untuk menjaga kecepatan rotor melawan gesekan dan kehilangan tahanan. Saat beban mekanis meningkat, sehingga ada beban elektrik, beban elektrik berhubungan erat dengan beban mekanis. Hal ini mirip dengan sebuah *transformer*, di mana beban listrik primer berhubungan dengan beban listrik sekunder

- *Rotor belitan*

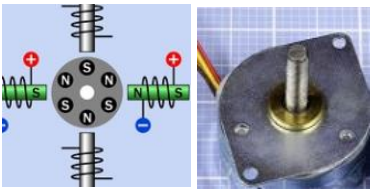
  Bila diperlukan kecepatan bervariasi, digunakan rotor belitan. Dalam jenis ini, rotor memiliki jumlah kutub yang sama dengan stator dan belitannya dibuat dari kawat, dihubungkan ke slip *ring* pada poros. Sikat karbon menghubungkan slip ring ke sebuah *controller* eksternal seperti sebuah resistor variabel yang memungkinkan perubahan tingkat slip motor. Dibandingkan dengan rotor sangkar, rotor belitan lebih mahal dan memerlukan pemeliharaan dari slip ring dan sikatnya, tetapi motor jenis ini merupakan motor standar untuk kontrol kecepatan yang bervariasi. Saat ini, untuk mengontrol kecepatan dapat digunakan *inverter* bertransistor dengan *variable frequency*

drive dan motor dengan rotor belitan menjadi tidak umum digunakan. Beberapa metode untuk *starting* motor tiga phasa dapat digunakan. Bila arus besar dan torsi start yang tinggi dapat diizinkan, maka motor dapat distart melalui *line*, dengan menggunakan tegangan penuh pada terminal terminalnya (*Direct on line, DOL*). Bila diperlukan pembatasan arus start (di mana motor lebih besar dibandingkan dengan kapasitas jaringan dari *supply*), tegangan start dikurangi dengan induktor series, sebuah *autotransformer, thyristor*, atau alat lain. Motor jenis ini menjadi lebih umum dalam aplikasi traksi seperti lokomotif, di mana dikenal dengan motor tak serempak. Kecepatan motor AC ditentukan dengan frekuensi dari sumber arus AC nya dan jumlah kutub dari belitan stator, dengan hubungan. Kecepatan putar aktual dari motor induksi akan lebih kecil dari perhitungan kecepatan serempak dengan sejumlah slip, yang meningkat dengan torsi yang dihasilkan. Tanpa beban, kecepatan akan mendekati kecepatan serempak. Bila diberi beban, motor standar memiliki slip 2-3%, motor khusus memiliki sampai 7 % slip, dan motor torsi memiliki 100% slip. Slip dari motor AC dihitung dengan Sebagai contoh, sebuah motor dengan empat kutub beroperasi pada 60 Hz bisa memiliki kecepatan 1725 RPM pada beban penuh, sedangkan bila dihitung kecepatannya 1800 RPM. Motor Serempak Tiga phasa bila sambungan ke lilitan rotor dilakukan pada slip ring dan pengumpan arus medan yang terpisah untuk menciptakan medan magnet kontinu (atau bila rotor terdiri dari sebuah magnet permanen), hasilnya disebut motor serempak karena rotor akan berputar serempak dengan medan putar yang dihasilkan oleh sumber arus tiga phasa. Motor serempak dapat. juga digunakan sebagai sebuah alternator.

3. Motor *Stepper*

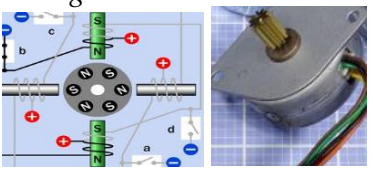
Stepper adalah alat yang mengubah pulsa listrik yang diberikan menjadi gerakan rotor diskrit (tidak kontinu) yang disebut step (langkah). Satu putaran motor memerlukan 360 derajat dengan jumlah langkah yang tertentu per derajatnya. Ukuran kerja dari *stepper* biasanya diberikan dalam jumlah langkah per putaran per detik. Motor *stepper* mempunyai. kecepatan dan torsi yang rendah namun memiliki kontrol gerakan posisi yang cermat, hal ini di karena kan memiliki beberapa segmen kutub kumparan. Motor

stepper banyak digunakan untuk aplikasi-aplikasi yang biasanya cukup menggunakan torsi yang kecil, seperti untuk penggerak piringan disket atau piringan CD. Motor *stepper* merupakan motor DC yang tidak memiliki komutator. Pada umumnya motor *stepper* hanya mempunyai kumparan pada statornya sedangkan pada bagian rotornya merupakan magnet permanen. Dengan model motor seperti ini maka motor *stepper* dapat diatur posisinya pada posisi tertentu dan/atau berputar ke arah yang diinginkan, searah jarum jam atau sebaliknya. Kecepatan motor *stepper* pada dasarnya ditentukan oleh kecepatan pemberian data pada komutatornya. Semakin cepat data yang diberikan maka motor *stepper* akan semakin cepat pula berputarnya. Ada dua jenis *stepper* motor yang banyak dipakai, yakni Bipolar *stepper* motor dan *unipolar stepper* motor. Bipolar *stepper* motor bekerja dengan menggunakan satu lilitan penuh pada setiap bagian stator untuk melakukan gerak satu langkah.



Gambar 104 konstruksi dan bentuk fisik Bipolar *stepper* motor

Ciri ciri dari bipolar *stepper* motor, adalah terdapat empat kabel sebagai media transfer arus. Sedangkan *unipolar stepper* motor, bekerja dengan menggunakan setengah dari lilitan pada setiap statornya. Sehingga kabel yang disediakan pada *unipolar stepper* motor biasanya lebih dari empat. Dimana terdapat sebuah *common*, yang dapat diberikan ke *ground* atau VCC.



Gambar 105 konstruksi dan bentuk fisik *Unipolar stepper* motor

Berikut ini kelebihan dan kekurangan motor *stepper* yaitu :

Tabel 4 Kelebihan dan Kekurangan motor *stepper*

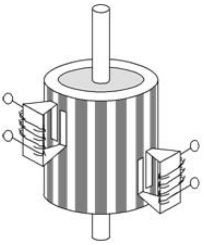
No.	Kelebihan	Kekurangan
1.	Sudut rotasi motor proporsional dengan pulsa masukan.	Resonansi dapat terjadi jika tidak dikontrol.
2.	Motor ini memiliki torsi penuh pada berdiri masih (jika lilitan energi).	tidak mudah untuk beroperasi pada kecepatan sangat tinggi.
3.	Tepat posisi dan kemampuan untuk mengulangi gerakan sejak motor *steppe* yang baik memiliki akurasi 3 - 5% dari langkah dan kesalahan ini adalah non kumulatif dari satu langkah ke depan.	
4.	Respons *Excellent* untuk memulai/berhenti /membalikkan.	
5.	Sangat handal karena ada kuas tidak ada kontak di motor. Oleh karena itu kehidupan motor hanya tergantung pada kehidupan bantalan.	
6.	Respons motor untuk pulsa *input* digital memberikan kontrol *loop* terbuka, membuat motor lebih sederhana dan lebih murah untuk mengendalikan.	
7.	Kemungkinan untuk mencapai kecepatan putran rendah sangat sinkron dengan beban yang langsung digabungkan pada poros.	
8.	Berbagai kecepatan rotasi dapat direalisasikan sebagai kecepatan sebanding dengan frekuensi pulsa masukan.	

Salah satu keuntungan paling signifikan dari motor *stepper* adalah kemampuannya secara akurat dikendalikan pada sistem *loop* terbuka. Kontrol *loop* terbuka berarti ada informasi umpan balik tentang posisi yang dibutuhkan. Ada 3 tipe dasar motor *stepper*, yaitu:

[1]. Permanen magnet (PM)

Magnet Permanen sering disebut sebagai "kaleng" atau "*canstock*" motor motor magnet permanen langkah adalah biaya

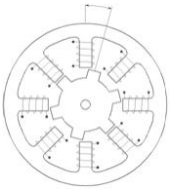
rendah dan motor jenis resolusi rendah dengan langkah khas / evolusi) AM motor seperti namanya magnet permanen telah ditambahkan ke dalam struktur motor. rotor tidak lagi memiliki gigi sebagai dengan motor VR. Sebaliknya rotor magnet dengan bolak utara dan kutub selatan memberikan peningkatan intensitas fluks magnetik dan karena ini pameran motor PM memperbaiki karakteristik torsi jika dibandingkan dengan tipe VR.



Gambar 106 Permanen magnet

[2]. *Variable reluctance* (VR)

Jenis motor *stepper* telah sekitar untuk waktu yang lama. ini mungkin yang paling mudah untuk memahami dari sudut pandang struktural. Jenis motor terdiri dari stator besi lunak multi gigi rotor dan luka. Ketika gulungan stator makan energi dengan arus DC kutub menjadi magnet. Rotasi terjadi ketika gigi rotor tertarik ke kutub stator energi.

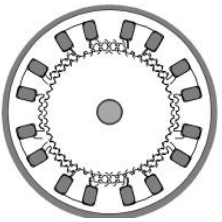


Gambar 107 Variabel *Reluctance*

[3]. *Permanent* magnet *hybrid* (PM-H)

stepper motor hibrida lebih mahal daripada motor *stepper* PM tetapi memberikan kinerja yang lebih baik sehubungan dengan langkah resolusi, torsi dan kecepatan. Khas curam malaikat untuk *stepper* motor berbagai bentuk HB 3,60 hingga 0,90 (100 - 400 curam per putaran). *Stepper* motor *hybrid* menggabungkan *fitur* terbaik dari kedua PM dan motor *stepper* jenis VR. Rotor berbentuk *multi* bergigi seperti motor VR dan berisi magnet konsentris aksial magnet di sekitar poros nya. gigi pada rotor

memberikan jalur yang lebih baik yang membantu memandu fluks magnetik ke lokasi disukai di air gap tersebut. ini lebih lanjut meningkatkan *detent*[5], memegang dan karakteristik torsi motor dinamis bila dibandingkan dengan kedua VR dan jenis PM. Dua jenis yang paling umum digunakan adalah motor *stepper* magnet permanen dan jenis hibrida. Jika seorang desainer tidak yakin jenis akan paling sesuai persyaratan aplikasinya, ia pertama kali harus mengevaluasi jenis PM seperti yang biasanya beberapa kali lebih murah. jika tidak maka motor *hybrid* mungkin merupakan pilihan yang tepat. Ada juga *excyst* beberapa desain motor *stepper* khusus. Satu adalah magnet motor *disk*. Berikut rotor dirancang *disk* dengan magnet bumi yang langka. Motor jenis ini memiliki beberapa keunggulan seperti inersia sangat rendah dan jalur aliran magnetik dioptimalkan tanpa penghubung antara dua belitan stator, kualitas ini. sangat penting dalam beberapa aplikasi.



Gambar 108 Permanen Magnet *Hybrid*

Sebuah motor *stepper* dapat menjadi pilihan yang baik jika dikendalikan gerakan diperlukan. Mereka dapat digunakan untuk keuntungan dalam aplikasi di mana Anda perlu untuk mengontrol rotasi sudut, kecepatan, posisi dan sinkronisme. Karena keuntungan di *herent* terdaftar sebelumnya, motor *stepper* telah menemukan tempat mereka. Dalam aplikasi yang berbeda. Beberapa di antaranya adalah *printer*, *plotter*, peralatan kantor *high end*, *hard disk drive*, peralatan medis, mesin *fax*, otomotif dan banyak lagi.

[5] *Detent* adalah cara mekanis atau magnetis untuk menahan atau menahan rotasi roda, gandar, atau Spindel. Perangkat semacam itu bisa berupa apa saja mulai dari pin logam sederhana hingga mesin. Istilah ini juga digunakan untuk metode yang terlibat.

4. *Servo* Motor

Servo motor merupakan kombinasi dari motor, *gear box*, dan rangkaian kontrol elektronik yang dibungkus Bersama pada satu tempat. Motor dapat bergerak dengan tegangan AC atau DC, namun biasanya menggunakan motor *servo* dengan sumber DC. *Servo* motor pada dasarnya dikendalikan oleh *pulse width modulation* (PWM). Sebagai contoh untuk jenis *servo* kecil pada RC. Pulsa yang mengendalikan di atur pada frekuensi konstan yakni 20 ms, dengan durasi keadaan positif pada setiap pulsanya akan mengatur posisi dari motor, dan lembah di antara pulsa tidak dihiraukan. Jangkauan dari lebar pulsa untuk motor yang kecil adalah 1 ms sampai 2 ms, dengan spesifikasi jangkauan -90 sampai +90 derajat berdasarkan titik tengahnya.

Gambar 109 *Servo Motor*

Bahan diskusi dan Tugas

1. Jelaskan dengan singkat perbedaan yang mendasar aktuator elektrik berdasarkan geraknya
2. Terdapat 3 jenis aktuator berdasarkan energi penggeraknya yaitu aktuator Hidrolik, penumatik dan elektrik jelaskan prinsip kerja masing masing
3. Ada berapa jenis rotor yang digunakan pada motor induksi, jelaskan dan sebutkan!
4. Berikan 3 jenis contoh aktuator yang anda pahami!

BAB 5

Sistem kendali dan Sensor

Masdania Zurairah,SR
Wahdatul Wujud

SISTEM KENDALI DAN SENSOR

Sistem instrumentasi dan kendali dapat dilukiskan tersusun atas beberapa komponen sensor dan aktuator. Sensor (sering juga dinamakan transduser) adalah sistem yang mengukur besaran lingkungan (misalnya suhu, tekanan, kelembaban, dan mengonversikannya menjadi besaran listrik (misalnya LM35 mengonversi suhu menjadi tegangan listrik).*Analog to digital converter* adalah sistem yang mengonversikan besaran listrik *analog* menjadi besaran listrik digital *information processing* adalah sistem yang memproses besaran digital menjadi besaran digital yang lain *display* adalah sistem yang menampilkan suatu besaran digital, misalnya layar monitor, LCD *display*, 7 *segment display*,. *Digital to Analog converter* adalah sistem yang mengonversikan besaran listrik digital menjadi besaran listrik analog aktor atau aktuator adalah sistem yang mengonversikan besaran listrik analog menjadi besaran lainnya misalnya kecepatan putaran.

SISTEM KENDALI

Sistem kendali atau sistem kontrol (*control system*) adalah suatu alat (kumpulan alat) untuk mengendalikan, memerintah, dan mengatur keadaan dari suatu sistem. Istilah sistem kendali ini dapat dipraktikkan secara manual untuk mengendalikan stir mobil pada saat kita mengendarai/menyetir mobil kita, misalnya, dengan menggunakan prinsip loloh balik[6]. Dalam sistem yang otomatis, alat semacam ini sering dipakai untuk peluru kendali sehingga peluru akan mencapai sasaran yang diinginkan. Banyak contoh lain dalam

[6] Loloh balik atau umpan balik atau suap-balik (feedback) adalah suatu proses di mana sebagian dari output (keluaran) di loloh balik kan ke bagian input (masukan). Hal ini sering dipakai untuk pengendalian suatu sistem yang bersifat dinamis sehingga sistem tersebut dapat diatur untuk mencapai keadaan yang stabil yang diinginkan. Beberapa contohnya dapat dijumpai pada sistem kompleks yang dipakai di bidang teknik, instrumentasi, elektronika, termodinamika, biologi, arsitektur, maupun ekonomi, dan lain lain.Contoh konkret dari sistem kendali dengan loloh balik ini adalah stir mobil pada saat kita mengendarai/menyetir mobil kita. Jika di tengah jalan kita menjumpai bahwa mobil kita terlalu ke pinggir (dan takut akan menabrak orang), maka informasi ini kita pakai (di *feedback*-kan ke input) untuk mengubah kedudukan stir mobil sehingga mobil akan berada pada posisi jalur yang benar (output yang kita inginkan).

bidang industri / instrumentasi dan dalam kehidupan kita sehari hari di mana sistem ini dipakai. Alat pendingin (AC) merupakan contoh yang banyak kita jumpai yang menggunakan prinsip sistem kendali, karena suhu ruangan dapat dikendalikan sehingga ruangan berada pada suhu yang kita inginkan. Pada prinsipnya ada 2 macam sistem kendali: sistem kontrol *sekuensial*/logika dan sistem kontrol linear. Sistem kendali berbasis logika samar (logika *Fuzzy*) akhir akhir ini banyak diperkenalkan sebagai gabungan di antara kedua sistem tersebut.

Sistem Kontrol *Sekuensial*

Jika Anda mencari arti istilah "sekuens", berikut adalah sejumlah makna yang mungkin akan muncul. Terjadi secara berurutan rangkaian, kaitan, kejadian berturut turut, Urutan berbagai hal : urutan peringkat, urutan, progres, Peralihan berbagai hal : urutan, hasil alami Istilah "sekuens" juga telah digunakan dalam bidang komputer dan telekomunikasi, yang pada dasarnya mengacu pada prosedur operasional berkelanjutan sesuai dengan aturan dan peraturan yang berlaku. Dari sini, kita dapat menyimpulkan bahwa istilah "kontrol sekuens" mengacu pada upaya membuat target beroperasi sesuai dengan tujuannya berdasarkan perintah dan kondisi yang telah ditetapkan sebelumnya.

Definisi Kontrol Sekuens adalah kendali yang berlangsung dalam beberapa tahap sesuai dengan urutan yang telah ditetapkan. Contoh ilustrasi nya dapat dilihat pada gambar dibawah ini

Gambar 110 Sistem kontrol sekuens pencucian mobil

Manfaat Kontrol *Sekuensial*

Kontrol sekuens digunakan secara luas terutama di pabrik. Sebagian besar operasi dan tugas dijalankan secara otomatis dengan kontrol sekuens. Tugas yang biasanya dilakukan oleh manusia, baik yang berbahaya maupun sederhana, kini dijalankan dengan mesin agar manusia dapat fokus pada tugas yang aman. Mesin juga tidak akan mengalami kelelahan. Saat manusia meluangkan waktu beristirahat, proses produksi akan tetap dijalankan secara akurat melalui serangkaian tindakan yang telah ditetapkan sebelumnya bahkan di lingkungan kerja yang mungkin terlalu sulit bagi manusia. Oleh sebab itu, hasil produksi berkualitas tinggi dalam jumlah besar dapat diperoleh secara efisien berkat penggunaan mesin. Penyederhanaan proses produksi ini disebut "otomatisasi pabrik" atau "FA". Dengan demikian, kontrol sekuens memainkan peran penting dalam FA.

Tabel 5 Penggunaan Kontrol Sekuens

Contoh Proses / Tugas	Contoh Penggunaan Kontrol Sekuens
Penyortiran	Ukuran produk pada konveyor dalam line produksi ditentukan, lalu disortir.
Pemotongan	Panjang material gulungan diukur dan dipotong dengan mesin pemotong yang digerakkan pada interval tetap.
Pengisian Botol	Botol yang kosong ditempatkan di bawah nosel, diisi cairan dalam jumlah tertentu, lalu dipindahkan ke posisi selanjutnya. Botol kosong berikutnya juga diproses dengan cara yang sama.
Penggantian alat	Produk dihitung. Setelah mencapai jumlah yang diperlukan, robot dengan alat yang berbeda akan diinstruksikan untuk menghasilkan produk lain.
Pemantauan	Jumlah cairan dipantau; jika jumlah yang ditetapkan hampir terlampaui, botol akan dikosongkan dan lampu menyala secara bersamaan untuk memberi

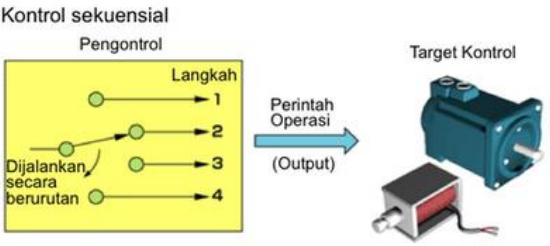
	peringatan kepada karyawan yang bertugas sebagai operator.
Penggantian Komponen	Label kode batang yang tercantum pada produk dibaca, lalu mesin diinstruksikan untuk mengganti komponen yang akan dipasang berdasarkan lokasi tujuan ekspor produk.

Kontrol Sekuens Dasar

Dalam sistem kontrol sekuensial, terdapat 3 (tiga) kombinasi dasar sekuens yaitu :

[1]. Kontrol Sekuensial

Kontrol sekuensial mengoperasikan perangkat dalam urutan yang telah ditetapkan, dan disebut juga "kontrol langkah". Alur yang dijelaskan dalam pembahasan. Alur yang dijelaskan dalam bagian 1.2 tentang mesin pencuci mobil, yaitu memasukkan uang, menekan tombol mulai, hingga mobil disemprot air, disemprot deterjen, lalu dibersihkan adalah bentuk kontrol sekuensial. Mesin biasanya beroperasi berdasarkan urutan yang telah ditetapkan. Dalam hal ini, kontrol sekuensial mengendalikan serangkaian tindakan yang dijalankan oleh mesin. Berikut adalah penjelasan tentang "kontrol kondisi" yang akan menentukan jenis kondisi untuk mengoperasikan atau menghentikan mesin.

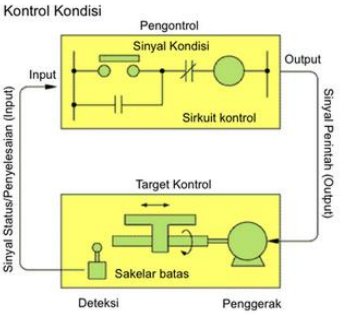


Gambar 111 Kontrol sekuensial dan komponennya

[2]. Kontrol Kondisi

Kontrol kondisi adalah jenis kontrol untuk mengoperasikan peralatan bila kondisi tertentu yang ditetapkan sebelumnya

telah terpenuhi dengan menggabungkan sinyal status dan sinyal penyelesaian.Ini disebut juga "kontrol *interlock*" karena kondisi diterapkan berdasarkan kombinasi sinyal sehingga peralatan hanya beroperasi bila diperlukan. Pada jenis kontrol yang digunakan dalam contoh mesin pencuci mobil di bagian 1.2, mobil yang dicuci setelah uang dimasukkan dan tombol ditekan adalah contoh kontrol kondisi.



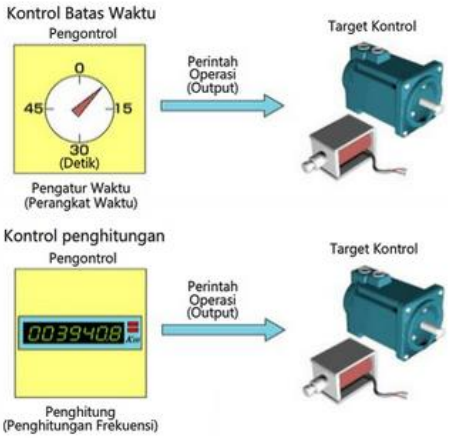
Gambar 112 Kontrol Kondisi

Seperti ditampilkan dalam gambar berikut, jika pengontrol dianggap sebagai kotak hitam, maka sinyal status/penyelesaian dari target kontrol akan menjadi "*input*" dan sinyal perintah ke target menjadi "*output*". "*Output*" ditetapkan berdasarkan kondisi "*input*" yang nantinya akan mengoperasikan target kontrol. Sinyal dari target kontrol akan menjadi "*input*" berikutnya. Dengan demikian, kontrol kondisi akan menghasilkan *loop* antara peralatan kontrol dan target kontrol berdasarkan sinyal status/penyelesaian dan sinyal perintah.

[3]. Kontrol Batas Waktu

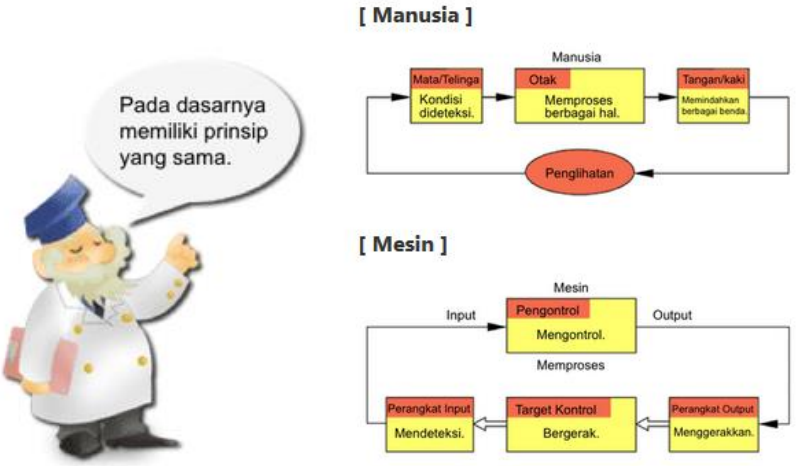
Kontrol batas waktu" adalah jenis kontrol yang memungkinkan perintah operasi ke target kontrol ditetapkan berdasarkan waktu tertentu dan waktu yang berlalu. Pada kontrol mesin pencuci mobil yang dijelaskan di gambar 111, setelah langkah 2 (penyemprotan awal dengan air) selesai dijalankan, operasi akan dilanjutkan dengan langkah berikutnya (langkah 3).Hal ini berhubungan dengan kontrol batas waktu. Kontrol penghitungan juga merupakan jenis kontrol di mana tindakan yang mempengaruhi target kontrol ditetapkan dengan menghitung jumlah produk atau jumlah tindakan tertentu yang dilakukan mesin. Kontrol batas waktu memerlukan fungsi

pengatur waktu dan kontrol penghitungan memerlukan fungsi penghitung.



Gambar 113 Kontrol Batas Waktu

Sistem yang Berfungsi Menggunakan Kontrol Sekuens dapat di ilustrasikan seperti gambar dibawah ini



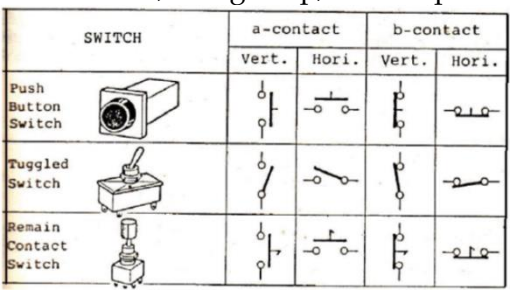
Gambar 114 Ilustrasi sistem kontrol sekuens manusia mesin

Elemen dasar rangkaian Sekuensial

Umumnya system kontrol terdiri dari sensor, peralatan kontrol dan aktuator. Energi penggerak juga diperlukan untuk mengoperasikan sistem. Dalam hal ini peralatan kontrol berfungsi

seperti otak manusia. Karena itu maka untuk merancang sistem kontrol diperlukan pengetahuan tentang rangkaian kontrol dasar dan elemen-elemennya serta prinsip operasinya.

- *Switch* (sakelar)
  Banyak tipe sakelar yang beredar dan digunakan di sekitar kita. Sebagai contoh *micro switch* yang dapat dioperasikan dengan tekanan yang ringan mempunyai aksi sakelar yang andal dan kapasitas arus cukup besar, banyak digunakan sebagai sensor pada rangkaian kontrol *sekuensial*, misalnya sebagai saklar pembatas untuk alarm, energi stop, kontrol posisi dan lain-lain.



Gambar 115 Saklar

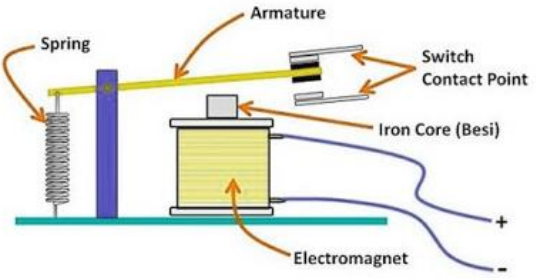
- Relay

  Relay adalah sejenis saklar pemutus dan penghubung rangkaian yang bekerja secara elektromekanis. Tidak seperti sakelar biasa yang langsung bisa di operasikan dengan jari untuk membuka atau menutupnya. Tapi relay bekerja secara elektromekanis dan membutuhkan arus listrik karena sakelar di dalam relay di gerakkan oleh magnet yang di hasilkan oleh koil (lilitan). Koil inilah yang mengkonsumsi listrik. Relay hanya membutuhkan arus dan tegangan rendah dan mampu mengontrol rangkaian dengan arus dan tegangan yang lebih tinggi.

Gambar 116 Relay dan Simbolnya

Relay dapat dibagi menjadi dua tipe :

a. Relay tipe kontak membuka/menutup secara mekanis.
b. Relay tipe non kontak menggunakan gerbang semikonduktor



Gambar 117 Komponen Relay

❖ Kontaktor Elektromagnetik dan Pewaktu (*timer*)

Saklar atau kontak yang sistem operasinya dengan cara kerja medan elektromagnetik yang dibangkitkan oleh kumparan magnet buatan dan merupakan suatu alat yang aman untuk penyambungan dan pemutusan secara terus menerus. Kapasitas arus listrik untuk motor berdaya besar terlalu besar untuk dioperasikan oleh operator secara langsung dan manual dengan *power switch*. Oleh karena itu maka kontaktor elektromagnetik (MC) biasanya digunakan untuk mengatasi hal tersebut. Dengan menggunakan MC maka dapat dengan mudah direalisasikan untuk mengatur secara ON OFF arus listrik yang berkapasitas besar secara tidak langsung. Kontrol *sekuensial* untuk arus listrik yang besar biasanya memakai MC sebagai salah satu komponennya. MC dapat dibayangkan sebagai kontak relay untuk piranti dengan arus yang besar. Pewaktu (*timer*) atau relay pewaktu (*timer relay*) juga merupakan komponen sistem kontrol *sekuensial* utamanya untuk kontrol pengaturan waktu (*time scheduled* kontrol).

Gambar 118 Kontaktor Elektromagnetik Pewaktu

SENSOR

Adalah suatu alat yang dapat mengubah suatu besaran fisis, kimia maupun biologi menjadi sinyal besaran fisis yang lain yang dapat diukur. Dengan demikian sensor digunakan sebagai indera suatu alat (*instrument*). Sensor merupakan elemen pertama yang bersentuhan langsung dengan obyek uang akan diukur. Sinyal dari sensor akan diteruskan ke unit proses selanjutnya untuk diolah sehingga menghasilkan *output* sesuai keinginan. Suatu sensor harus memenuhi kriteria yang telah ditetapkan, guna menentukan kualitas dari sebuah sensor. Kriteria yang harus dimiliki sensor, antara lain:

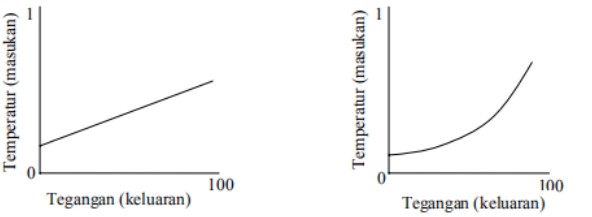
- Sensitif terhadap besaran yang diukur
- Tidak sensitif terhadap besaran lainnya
- Tidak mempengaruhi sifat objek yang diukur.

Persyaratan umum sensor

Dalam memilih peralatan sensor yang tepat dan sesuai dengan sistem yang akan disensor maka perlu diperhatikan persyaratan umum sensor berikut ini :

1. *Linearitas*

   Ada banyak sensor yang menghasilkan sinyal keluaran yang berubah secara kontinu sebagai tanggapan terhadap masukan yang berubah secara kontinu. Sebagai contoh, sebuah sensor panas dapat menghasilkan tegangan sesuai dengan panas yang dirasakannya. Dalam kasus seperti ini, biasanya dapat diketahui secara tepat bagaimana perubahan keluaran dibandingkan dengan masukannya berupa sebuah grafik. Gambar 120 memperlihatkan hubungan dari dua buah sensor panas yang berbeda. Garis lurus pada gambar 120(a). memperlihatkan tanggapan linier, sedangkan pada gambar 120(b). adalah tanggapan non linier.



(a) Tangapan linier (b) Tangapan non linier

Gambar 119 Keluaran dari Transduser panas

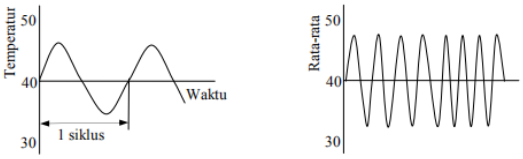
2. *Sensitivitas*

Sensitivitas akan menunjukkan seberapa jauh kepekaan sensor terhadap kuantitas yang diukur. Sensitivitas sering juga dinyatakan dengan bilangan yang menunjukkan "perubahan keluaran dibandingkan unit perubahan masukan". Beberapa sensor panas dapat memiliki kepekaan yang dinyatakan dengan "satu volt per derajat", yang berarti perubahan satu derajat pada masukan akan menghasilkan perubahan satu volt pada keluarannya. Sensor panas lainnya dapat saja memiliki kepekaan "dua volt per derajat", yang berarti memiliki kepekaan dua kali dari sensor yang pertama. Linieritas sensor juga mempengaruhi sensitivitas dari sensor. Apabila tanggapannya linier, maka sensitivitasnya juga akan sama untuk jangkauan pengukuran keseluruhan. Sensor dengan tanggapan pada gambar 120(b) akan lebih peka pada temperatur yang tinggi dari pada temperatur yang rendah.

3. *Tanggapan waktu*

Tanggapan waktu pada sensor menunjukkan seberapa cepat tanggapannya terhadap perubahan masukan. Sebagai contoh, instrumen dengan tanggapan frekuensi yang jelek adalah sebuah termometer merkuri. Masukannya adalah temperatur dan keluarannya adalah posisi merkuri. Misalkan perubahan temperatur terjadi sedikit demi sedikit dan kontinu terhadap waktu, seperti tampak pada gambar 120(a). Frekuensi adalah jumlah siklus dalam satu detik dan diberikan dalam satuan hertz (Hz) (1 hertz berarti 1 siklus per detik, 1 kilohertz berarti 1000 siklus per detik). Pada frekuensi rendah, yaitu pada saat temperatur berubah secara lambat, termometer akan mengikuti perubahan tersebut dengan "setia". Tetapi apabila perubahan

temperatur sangat cepat lihat gambar 120(b) maka tidak diharapkan akan melihat perubahan besar pada termometer merkuri, karena ia bersifat lamban dan hanya akan menunjukkan temperatur rata-rata.



(a) Perubahan lambat (b) Perubahan cepat

Gambar 120 Temperatur berubah secara kontinu

Ada bermacam cara untuk menyatakan tanggapan frekuensi sebuah sensor. Misalnya, "satu milivolt pada 500 hertz". Tanggapan frekuensi dapat pula dinyatakan dengan "*decibel* (db)", yaitu untuk membandingkan daya keluaran pada frekuensi tertentu dengan daya keluaran pada frekuensi referensi. Ketentuan lain yang perlu diperhatikan dalam memilih sensor yang tepat adalah dengan mengajukan beberapa pertanyaan berikut ini:

- Apakah ukuran fisik sensor cukup memenuhi untuk dipasang pada tempat yang diperlukan?
- Apakah ia cukup akurat?
- Apakah ia bekerja pada jangkauan yang sesuai?
- Apakah ia akan mempengaruhi kuantitas yang sedang diukur?

.Sebagai contoh, bila sebuah sensor panas yang besar dicelupkan ke dalam jumlah air yang kecil, malah menimbulkan efek memanaskan air tersebut, bukan menyensornya.

- Apakah ia tidak mudah rusak dalam pemakaiannya?
- Apakah ia dapat menyesuaikan diri dengan lingkungannya?
- Apakah biayanya terlalu mahal?

Jenis Sensor

Perkembangan sensor sangat cepat sesuai kemajuan teknologi otomasi, semakin kompleks suatu sistem otomasi dibangun maka semakin banyak jenis sensor yang digunakan. Robotik adalah sebagai contoh penerapan sistem otomasi yang kompleks, di sini sensor yang digunakan dapat dikategorikan menjadi dua jenis sensor yaitu:

❖ *Internal* sensor

yaitu sensor yang dipasang di dalam bodi robot. Sensor internal diperlukan untuk mengamati posisi, kecepatan, dan akselerasi berbagai sambungan mekanik pada robot, dan merupakan bagian dari mekanisme *servo.*

❖ *External* sensor

yaitu sensor yang dipasang diluar bodi robot. Sensor eksternal diperlukan karena dua macam alasan yaitu:

[1]. Untuk keamanan

Yang dimaksud untuk keamanan" adalah termasuk keamanan robot, yaitu perlindungan terhadap robot dari kerusakan yang ditimbulkannya sendiri, serta keamanan untuk peralatan, komponen, dan orang-orang dilingkungan dimana robot tersebut digunakan. Berikut ini adalah dua contoh sederhana untuk mengilustrasikan kasus diatas. Contoh pertama: andaikan sebuah robot bergerak ke posisinya yang baru dan ia menemui suatu halangan, yang dapat berupa mesin lain misalnya. Apabila robot tidak memiliki sensor yang mampu mendeteksi halangan tersebut, baik sebelum atau setelah terjadi kontak, maka akibatnya akan terjadi kerusakan. Contoh kedua: sensor untuk keamanan diilustrasikan dengan problem robot dalam mengambil sebuah telur. Apabila pada robot dipasang pencengkeram mekanik (*gripper*), maka sensor harus dapat mengukur seberapa besar tenaga yang tepat untuk mengambil telur tersebut. Tenaga yang terlalu besar akan menyebabkan pecahnya telur, sedangkan apabila terlalu kecil telur akan jatuh terlepas. Kini bagaimana dengan sensor untuk penuntun atau pemandu?. Kategori ini sanggatlah luas, tetapi contoh berikut akan memberikan pertimbangan. Contoh pertama: komponen yang terletak diatas ban berjalan tiba di depan robot yang diprogram untuk menyemprotnya. Apa yang akan terjadi bila sebuah komponen hilang atau dalam posisi yang salah?. Robot tentunya harus memiliki sensor yang dapat mendeteksi ada tidaknya komponen, karena bila tidak ia akan menyemprot tempat yang kosong. Meskipun tidak terjadi kerusakan, tetapi hal ini bukanlah sesuatu yang diharapkan terjadi pada suatu pabrik.

[2]. Untuk penuntun.

Sensor untuk penuntun diharapkan cukup canggih dalam pengelasan. Untuk melakukan operasi dengan baik, robot haruslah menggerakkan tangkai las sepanjang garis las yang telah ditentukan, dan juga bergerak dengan kecepatan yang tetap serta mempertahankan suatu jarak tertentu dengan permukaannya. Sesuai dengan fungsi sensor sebagai pendeteksi sinyal dan menginformasikan sinyal tersebut ke sistem berikutnya, maka peranan dan fungsi sensor akan dilanjutkan oleh transduser. Karena keterkaitan antara sensor dan transduser begitu erat maka pemilihan transduser yang tepat dan sesuai juga perlu diperhatikan.

Klasifikasi Sensor

Secara umum berdasarkan fungsi dan penggunaannya sensor dapat dikelompokkan menjadi 3 bagian yaitu:

- Sensor *thermal* (panas)

  Sensor *thermal* adalah sensor yang digunakan untuk mendeteksi gejala perubahan panas/temperatur/suhu pada suatu dimensi benda atau dimensi ruang tertentu. Contohnya; *bimetal, termistor, thermocouple, RTD, photo transistor, photo diode, photo multiplier, photovoltaic, infrared pyrometer, hygrometer.* Temperatur merupakan salah satu dari empat besaran dasar yang diakui oleh Sistem Pengukuran Internasional (The International *Measuring System*). *Lord Kelvin* pada tahun 1848 mengusulkan skala temperatur termodinamika pada suatu titik tetap *triple point*, dimana fase padat, cair dan uap berada bersama dalam ekuilibrium, angka ini adalah 273,16^{o}K (derajat Kelvin) yang juga merupakan titik es. Skala lain adalah Celcius, Fahrenheit dan Rankine dengan hubungan sebagai berikut:
  ◦F= $\frac{9}{5}$ ◦C + 32 atau
  ◦C = $\frac{5}{9}$ (◦F-32) atau
  ◦R = ◦F + 459,69

  Temperatur adalah kondisi penting dari suatu substrat. Sedangkan "panas adalah salah satu bentuk energi yang diasosiasikan dengan aktivitas molekul molekul dari suatu

substrat". Partikel dari suatu substrat diasumsikan selalu bergerak. Pergerakan partikel inilah yang kemudian dirasakan sebagai panas. Sedangkan temperatur adalah ukuran perbandingan dari panas tersebut. Pergerakan partikel substrat dapat terjadi pada tiga dimensi benda yaitu:

1. Benda padat
2. Benda cair dan
3. Benda gas (udara)

Aliran kalor substrat pada dimensi padat, cair dan gas dapat terjadi secara :

1. Konduksi, yaitu pengaliran panas melalui benda padat (penghantar) secara kontak langsung.
2. Konveksi, yaitu pengaliran panas melalui media cair secara kontak langsung.
3. Radiasi, yaitu pengaliran panas melalui media udara/gas secara kontak tidak langsung.

Pada aplikasi pendeteksian atau pengukuran tertentu, dapat dipilih salah satu tipe sensor dengan pertimbangan :

1. Penampilan (Performance)
2. Keandalan (*Reliable*) dan
3. Faktor ekonomis (*Economic*)

Pemilihan Jenis Sensor Suhu

Hal hal yang perlu diperhatikan sehubungan dengan pemilihan jenis sensor suhu adalah:

1. Level suhu maksimum dan minimum dari suatu substrat yang diukur.
2. Jangkauan (*range*) maksimum pengukuran
3. Konduktivitas kalor dari substrat
4. Respons waktu perubahan suhu dari substrat
5. *Linearities* sensor
6. Jangkauan temperatur kerja

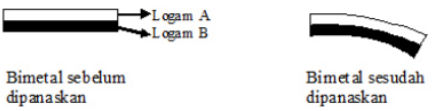
Selain dari ketentuan diatas, perlu juga diperhatikan aspek fisik dan kimia dari sensor seperti ketahanan terhadap korosi (karat), ketahanan terhadap guncangan, pengkabelan (instalasi), keamanan dan lain-lain.

Temperatur Kerja Sensor

Setiap sensor suhu memiliki temperatur kerja yang berbeda, untuk pengukuran suhu di sekitar kamar yaitu antara -35 ◦C sampai 150 ◦C, dapat dipilih sensor NTC, PTC, transistor, dioda dan IC hibrid. Untuk suhu menengah yaitu antara 150 ◦C sampai 700 ◦C, dapat dipilih *thermocouple* dan RTD. Untuk suhu yang lebih tinggi sampai 1500 ◦C, tidak memungkinkan lagi dipergunakan sensor sensor kontak langsung, maka teknis pengukurannya dilakukan menggunakan cara radiasi. Untuk pengukuran suhu pada daerah sangat dingin di bawah 65 ◦K -208 ◦C (0 ◦C = 273,16 ◦K) dapat digunakan resistor karbon biasa karena pada suhu ini karbon berlaku seperti semikonduktor. Untuk suhu antara 65 ◦K sampai 35 ◦C dapat digunakan kristal silikon dengan kemurnian tinggi sebagai sensor.

Bimetal

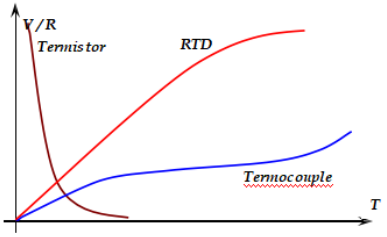
Bimetal adalah sensor temperatur yang sangat populer digunakan karena kesederhanaan yang dimilikinya. Bimetal biasa dijumpai pada alat setrika listrik dan lampu kelap kelip (*dimmer*). Bimetal adalah sensor suhu yang terbuat dari dua buah lempengan logam yang berbeda koefisien muainya (α) yang direkatkan menjadi satu. Bila suatu logam dipanaskan maka akan terjadi pemuaian, besarnya pemuaian tergantung dari jenis logam dan tingginya temperatur kerja logam tersebut. Bila dua lempeng logam saling direkatkan dan dipanaskan, maka logam yang memiliki koefisien muai lebih tinggi akan memuai lebih panjang sedangkan yang memiliki koefisien muai lebih rendah memuai lebih pendek. Oleh karena perbedaan reaksi muai tersebut maka bimetal akan melengkung ke arah logam yang muainya lebih rendah. Dalam aplikasinya bimetal dapat dibentuk menjadi sakelar *Normally Closed* (NC) atau *Normally* Open (NO)



Gambar 121 Konstriksi Bimetal

Termistor

Termistor adalah salah satu sensor panas paling populer, yang pada dasarnya adalah suatu resistor dengan koefisien temperatur yang sangat tinggi. Sebaliknya dari RTD, termistor akan menunjukkan penurunan nilai resistansi pada saat terjadinya kenaikan temperatur. Penurunan nilai ini sangat curam dengan sedikit kenaikan temperatur, sehingga alat ini cocok sekali untuk pengukuran temperatur yang teliti. Secara skematis, pola perubahan nilai tahanan ini ditunjukkan pada Gambar 122, beserta beberapa bentuk fisik termistor yang ada di pasaran.

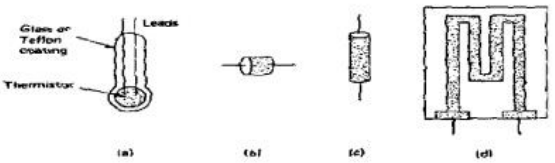


Gambar 122 Respons terhadap temperatur

Termistor terbuat dari campuran oksida oksida logam yang diendapkan seperti: mangan (Mn), nikel (Ni), cobalt (Co), tembaga (Cu), besi (Fe) dan uranium (U). Rangkuman tahanannya adalah dari 0,5 Ω sampai 75 Ω dan tersedia dalam berbagai bentuk dan ukuran. Ukuran paling kecil berbentuk mani manik *(beads*) dengan diameter 0,15 mm sampai 1,25 mm, bentuk piringan (*disk*) atau cincin (*washer*) dengan ukuran 2,5 mm sampai 25 mm. Cincin cincin dapat ditumpukan dan ditempatkan secara seri atau paralel guna memperbesar disipasi[7] daya.

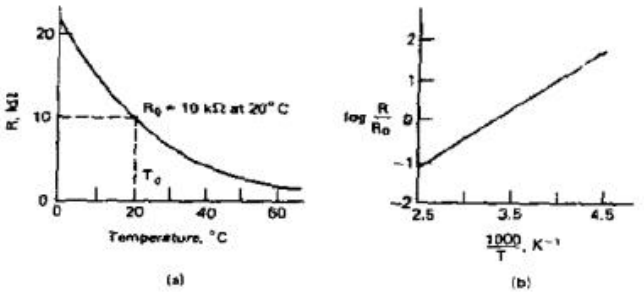
Dalam operasinya termistor memanfaatkan perubahan resistivitas terhadap temperatur, dan umumnya nilai tahanannya turun terhadap temperatur secara eksponensial untuk jenis NTC (*Negative Thermal Coefficient*)

[7] Disipasi adalah berubahnya tenaga mekanis atau listrik menjadi tenaga panas per satuan waktu.



Gambar 123 Konfigurasi termistor (a) *Coated bead* (b) *disk* (c) *Diode* (d) *thin* film

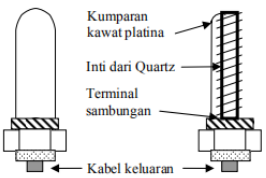
Karakteristik termistor berikut memperlihatkan hubungan antara temperatur dan resistansi seperti tampak pada gambar 124



Gambar 124 Grafik *thermistor resistansi* VS *temperature* (a) logaritmik (b) skala linier

Resistance Thermal Detector (RTD)

RTD adalah salah satu dari beberapa jenis sensor suhu yang sering digunakan. RTD dibuat dari bahan kawat tahan korosi, kawat tersebut dililitkan pada bahan keramik isolator. Bahan tersebut antara lain; platina, emas, perak, nikel dan tembaga, dan yang terbaik adalah bahan platina karena dapat digunakan menyensor suhu sampai 1500^0 C. Tembaga dapat digunakan untuk sensor suhu yang lebih rendah dan lebih murah, tetapi tembaga mudah terserang korosi.



Gambar 125 Sensor RTD

RTD memiliki keunggulan dibanding *thermocouple* yaitu:

1. Tidak diperlukan suhu referensi
2. Sensitivitasnya cukup tinggi, yaitu dapat dilakukan dengan cara memperpanjang kawat yang digunakan dan memperbesar tegangan eksitasi.
3. Tegangan *output* yang dihasilkan 500 kali lebih besar dari termokopel
4. Dapat digunakan kawat penghantar yang lebih panjang karena *noise* tidak jadi masalah
5. Tegangan keluaran yang tinggi, maka bagian elektronik pengolah sinyal menjadi sederhana dan murah.

Resistance Thermal Detector (RTD) perubahan tahanannya lebih linear terhadap temperatur uji tetapi koefisien lebih rendah dari termistor dan model matematis linier adalah:

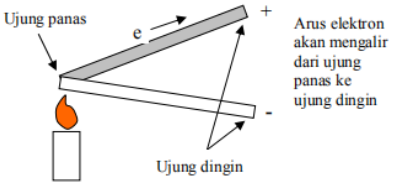
$$R_T = R_0 (1 + \alpha \Delta t)$$

Dimana :
R_0 = tahanan konduktor pada temperatur awal (biasanya 0^0C)
R_T = tahanan konduktor pada temperatur t^0C
α = Koefisien temperatur tahanan
Δt = selisih antara temperatur kerja dengan temperatur awal

Termokopel

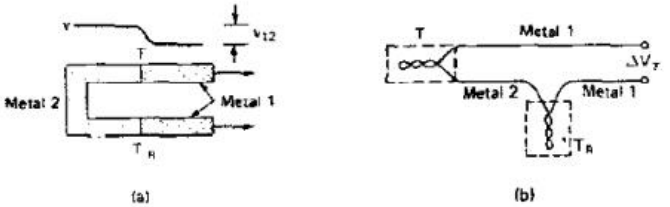
Pembuatan termokopel didasarkan atas sifat *thermal* bahan logam. Jika sebuah batang logam dipanaskan pada salah satu ujungnya maka pada ujung tersebut elektron elektron dalam logam akan bergerak semakin aktif dan akan menempati ruang yang semakin luas, elektron elektron saling desak dan bergerak ke arah ujung batang yang tidak dipanaskan. Dengan demikian pada ujung batang yang dipanaskan akan terjadi muatan positif. Kerapatan elektron untuk setiap bahan logam berbeda tergantung dari jenis logam. Jika dua batang logam disatukan salah satu ujungnya, dan kemudian dipanaskan, maka elektron dari batang logam yang memiliki kepadatan tinggi akan bergerak ke batang yang kepadatan elektronnya rendah, dengan demikian terjadilah perbedaan tegangan di antara ujung kedua batang logam yang tidak disatukan atau dipanaskan. Besarnya termolistrik atau *gem* (gaya elektromagnet) yang dihasilkan menurut T.J Seeback (1821) yang menemukan hubungan perbedaan panas (T1 dan T2) dengan gaya gerak listrik yang dihasilkan E, Peltir (1834), menemukan gejala panas yang mengalir dan panas yang diserap pada titik *hot junction*

dan *cold junction*, dan Sir William Thomson, menemukan arah arus mengalir dari titik panas ke titik dingin dan sebaliknya.



Gambar 126 Beda potensial termokopel

Bila ujung logam yang tidak dipanaskan dihubung singkat, perambatan panas dari ujung panas ke ujung dingin akan semakin cepat. Sebaliknya bila suatu termokopel diberi tegangan listrik DC, maka diujung sambungan terjadi panas atau menjadi dingin tergantung polaritas bahan (deret Volta) dan polaritas tegangan sumber. Dari prinsip ini memungkinkan membuat termokopel menjadi pendingin. Termokopel sebagai sensor temperatur memanfaatkan beda *work function* dua bahan metal.



Gambar 127 Hubungan termokopel (a) titik beda potensial (b) daerah pengukuran dan titik referensi

❖ Sensor mekanis

Sensor mekanis adalah sensor yang mendeteksi perubahan gerak mekanis, seperti perpindahan atau pergeseran atau posisi, gerak lurus dan melingkar, tekanan, aliran, level. Contoh; *strain gage*, linear variabel *deferential transformer* (LVDT), *proximity*, potensiometer, *load cell*, *bourdon* tube, dsb. Pergerakan mekanis adalah tindakan yang paling banyak dijumpai dalam kehidupan sehari hari, seperti perpindahan suatu benda dari suatu posisi ke posisi lain, kecepatan mobil di jalan raya, dongkrak mobil yang dapat mengangkat mobil seberat 10 ton, debit air di dalam pipa pesat, tinggi permukaan air dalam tangki. Semua gerak mekanis tersebut pada intinya hanya terdiri dari tiga macam, yaitu gerak lurus, gerak melingkar dan gerak memuntir. Gerak mekanis

disebabkan oleh adanya gaya aksi yang dapat menimbulkan gaya reaksi. Banyak cara dilakukan untuk mengetahui atau mengukur gerak mekanis misalnya mengukur jarak atau posisi dengan meter, mengukur kecepatan dengan *tachometer*[8], mengukur debit air dengan *rotameter* dsb. Tetapi jika ditemui gerakan mekanis yang berada dalam suatu sistem yang kompleks maka diperlukan sebuah sensor untuk mendeteksi atau menginformasikan nilai yang akan diukur. Berikut akan dijabarkan beberapa jenis sensor mekanis yang sering dijumpai di dalam kehidupan sehari hari.

Sensor posisi

Pengukuran posisi dapat dilakukan dengan cara analog dan digital. Untuk pergeseran yang tidak terlalu jauh pengukuran dapat dilakukan menggunakan cara cara analog, sedangkan untuk jarak pergeseran yang lebih panjang lebih baik digunakan cara digital. Hasil sensor posisi atau perpindahan dapat digunakan untuk mengukur perpindahan linier atau *angular*. Teknis perlakuan sensor dapat dilakukan dengan cara terhubung langsung (kontak) dan tidak terhubung langsung (tanpa kontak)

[1]. Strain Gauge (SG)

Strain gauge dapat dijadikan sebagai sensor posisi. SG dalam operasinya memanfaatkan perubahan resistansi sehingga nya dapat digunakan untuk mengukur perpindahan yang sangat kecil akibat pembengkokan (*tensile stress*) atau peregangan (*tensile strain*). Definisi elastisitas (ε) *strain gauge* adalah perbandingan perubahan panjang (ΔL) terhadap panjang semula (L) yaitu:

$$e = \frac{\Delta L}{L}$$

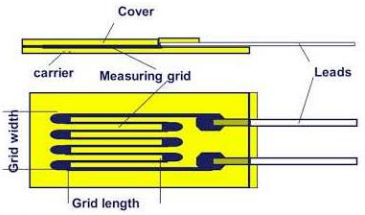
atau perbandingan perubahan resistansi (ΔR) terhadap resistansi semula (R) sama dengan faktor *gage* (Gf) dikali elastisitas *strain gage* (ε) :

[8] *Tachometer* adalah sebuah alat pengujian yang dirancang untuk mengukur kecepatan rotasi dari sebuah objek, seperti alat pengukur dalam sebuah mobil yang mengukur putaran per menit (RPM) dari poros engkol mesin

$$G_f e = \frac{\Delta R}{R}$$

Secara konstruksi SG terbuat dari bahan metal tipis (*foil*) yang diletakkan diatas kertas. Untuk proses pendeteksian SG ditempelkan dengan benda uji dengan dua cara yaitu:

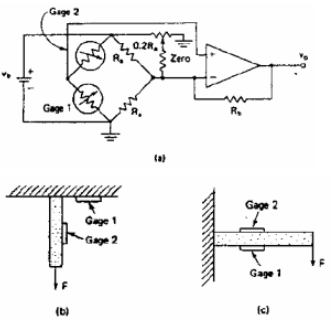
1. Arah perapatan/peregangan dibuat sepanjang mungkin (*axial*)
2. Arah tegak lurus perapatan/peregangan dibuat sependek mungkin (lateral)



Gambar 128 Bentuk fisik *Strain Gauge*

Faktor *gauge* (Gf) merupakan tingkat elastisitas bahan metal dari SG.

- metal *incompressible* Gf = 2
- *piezoresistive* Gf =30
- *piezoresistive* sensor digunakan pada IC sensor tekanan untuk melakukan sensor pada benda uji maka rangkaian dan penempatan SG adalah
- disusun dalam rangkaian jembatan
- dua *strain gauge* digunakan berdekatan, satu untuk peregangan/perapatan , satu untuk kompensasi temperatur pada posisi yang tidak terpengaruh peregangan/perapatan
- respons frekuensi ditentukan masa tempat *strain gauge* ditempatkan

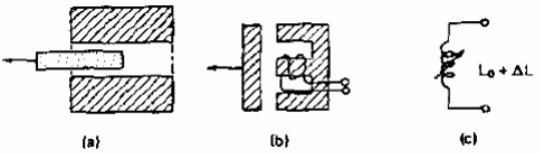


Gambar 129 Pemasangan *strain gauge*: (a) rangkaian jembatan (b) *gage* 1 dan *gage* 2 posisi 90 (c) *gage* 1 dan *gage* 2 posisi sejajar

[2]. Sensor induktif dan electromagnet

Sensor induktif memanfaatkan perubahan induktansi

- sebagai akibat pergerakan inti feromagnetik dalam koil
- akibat bahan feromagnetik yang mendekat



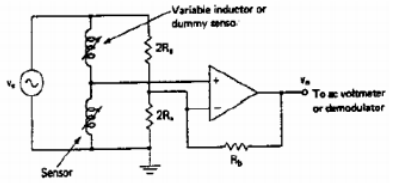
Gambar 130 Sensor posisi: (a) inti bergeser datar (b) inti I bergeser berputar, (c) rangkaian variabel induktansi

Rangkaian pembaca perubahan induktansi

- dua induktor disusun dalam rangkaian jembatan, satu sebagai *dummy*
- tegangan bias jembatan berupa sinyal AC
- perubahan induktansi dikonversikan secara linier menjadi perubahan tegangan

$$v_0 = \frac{V_b\ R_b}{4R_a}\ K_L\ x$$

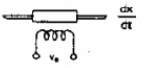
- *output* tegangan AC diubah menjadi DC atau dibaca menggunakan detektor fase



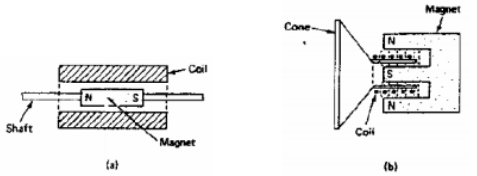
Gambar 131 Rangkaian uji sensor posisi induktif

- *output* tegangan sebanding dengan kecepatan perubahan posisi koil terhadap sumber magnet

$$v_e = K_M \frac{dx}{dt}$$



- perubahan medan magnet diperoleh dengan pergerakan sumber medan magnet atau pergerakan koilnya (seperti pada mikrofon dan *loud speaker*).



Gambar 132 Pemakaian sensor posisi: (a) pada *microphone*, (b) pada *loudspeaker*

[3]. Linier variable differential Transformer (LVDT)

Sensor ini berfungsi membaca pergerakan garis lurus, secara linear. LVDT merupakan salah satu contoh sensor posisi, yang bekerja berdasarkan pada ada tidaknya medan magnet yang terjadi. LVDT pertama kali di kemukakan oleh *G.B.hoadley*. Pertama kali digunakan untuk kepentingan militer. Pada tahun 1950an pengetahuan akan LVDT ini terus berkembang, hingga dapat digunakan dalam kepentingan industri

LVDT Terdiri dari :

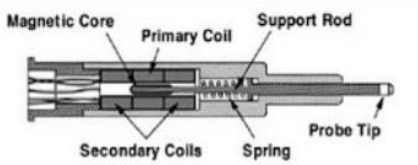
- Inti besi yang bergerak
- Kumparan primer
- Sepasang kumparan sekunder

Kumparan primer terhubung dengan tegangan AC sebagai tegangan acuan sementara kumparan sekunder berjumlah 2

buah, terletak di samping kiri dan kanan kumparan primer saling terhubung secara seri satu sama lain.

PRINSIP KERJA

Secara singkat prinsip kerja dari LVDT adalah sebagai berikut :Arus bolak balik AC mengalir melalui kumparan (*coil*) primer, sebagai akibat dari adanya tegangan eksitasi Eeks[9]. Arus terinduksi melalui pasangan kumparan sekunder. Frekuensi arus AC yang terinduksi ini sama dengan frekuensi eksitasi. Namun, amplitudo arus yang terinduksi pada setiap kumparan sekunder tergantung dari posisi/lokasi batang inti (magnet) yang dapat berpindah/bergerak. Perubahan amplitudo akibat pergeseran batang inti ini kemudian di proses untuk melakukan indikasi terhadap perubahan posisi. sehingga dengan memanfaatkan konsep ini, LVDT dapat dibuat sebagai sensor.



Gambar 133 LVDT

Penerapan Sensor LVDT :Sensor-sensor (perpindahan, jarak, dan sensor mekanik lainnya)

- Level fluida
- *Automotive Suspension*
- Mesin ATM

Kelebihan Dan Kekurangan

Berikut ini adalah kelebihan serta kekurangan LVDT :Kelebihan :Padat dan kuat, sehingga dapat digunakan pada peralatan yang berat. *System* operasi tanpa gesekan antara *aramature* (Angker) dan *transformer* sehingga cocok untuk pengujian material. Sensitif, sehingga dapat mendeteksi sedikit saja perubahan. Mampu

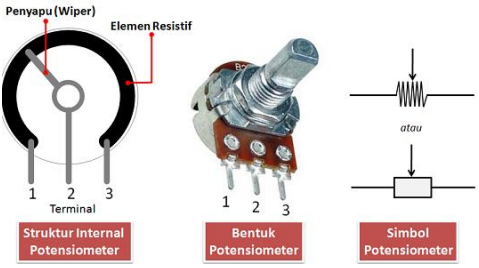
[9] Sistem eksitasi adalah sistem pasokan listrik DC sebagai penguatan pada generator listrik atau sebagai pembangkit medan magnet, sehingga suatu generator dapat menghasilkan energi listrik dengan besar tegangan keluaran generator bergantung pada besarnya arus eksitasi nya

menangani *input* yang berlebih. Dapat digunakan pada lingkungan yang bervariasi. *Output* mutlak

Kekurangan: LVDT baru bekerja jika ada kontak antara *armature* dan *transformer*. Pengukuran dinamis dibatasi tidak lebih dari 1/10 dari LVDT resonansi frekuensi. Di beberapa kasus, hasilnya lebih dari 2 kHz.

[4]. Potensiometer

Adalah salah satu jenis Resistor yang Nilai Resistansinya dapat diatur sesuai dengan kebutuhan Rangkaian Elektronika ataupun kebutuhan pemakainya. Potensiometer merupakan Keluarga Resistor yang tergolong dalam Kategori *Variable* Resistor. Secara struktur, Potensiometer terdiri dari 3 kaki Terminal dengan sebuah *shaft* atau tuas yang berfungsi sebagai pengaturnya.



Gambar 134 potensiometer

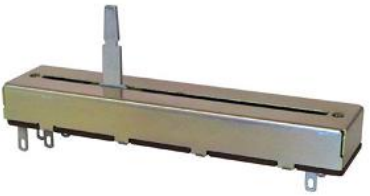
Prinsip Kerja (Cara Kerja) Potensiometer

Sebuah Potensiometer (POT) terdiri dari sebuah elemen resesif yang membentuk jalur (*track*) dengan terminal di kedua ujungnya. Sedangkan terminal lainnya (biasanya berada di tengah) adalah Penyapu (*Wiper*) yang dipergunakan untuk menentukan pergerakan pada jalur elemen resesif (*Resistive*). Pergerakan Penyapu (*Wiper*) pada jalur elemen rsesif inilah yang mengatur naik-turunnya Nilai Resistansi sebuah Potensiometer. Elemen resesif pada Potensiometer umumnya terbuat dari bahan campuran Metal (logam) dan Keramik ataupun Bahan Karbon (*Carbon*).Berdasarkan *Track* (jalur) elemen resesif nya, Potensiometer dapat digolongkan menjadi 2 jenis yaitu Potensiometer Linear (Linear *Potentiometer*) dan Potensiometer Logaritmik (*Logarithmic Potentiometer*).

Jenis-jenis Potensiometer berdasarkan bentuknya

Potensiometer dapat dibagi menjadi 3 macam, yaitu :

[1]. Potensiometer *Slider*, yaitu Potensiometer yang nilai resistansinya dapat diatur dengan cara menggeserkan *Wiper* nya dari kiri ke kanan atau dari bawah ke atas sesuai dengan pemasangannya. Biasanya menggunakan Ibu Jari untuk menggeser *wiper* nya



Gambar 135 Potensio *Slider*

[2]. Potensiometer *Rotary*, yaitu Potensiometer yang nilai resistansinya dapat diatur dengan cara memutarkan *wiper* nya sepanjang lintasan yang melingkar. Biasanya menggunakan Ibu Jari untuk memutar *wiper* tersebut. Oleh karena itu, Potensiometer *Rotary* sering disebut juga dengan *Thumbwheel Potentiometer*

Gambar 136 Potensio *Rotary*

[3]. Potensiometer Trimmer, yaitu Potensiometer yang bentuknya kecil dan harus menggunakan alat khusus seperti Obeng (*screwdriver)* untuk memutarnya. Potensiometer *Trimmer* ini biasanya dipasangkan di PCB dan jarang dilakukan pengaturannya.

Gambar 137 ***Potensio Timer***

Fungsi-fungsi Potensiometer

Dengan kemampuan yang dapat mengubah resistansi atau hambatan, Potensiometer sering digunakan dalam rangkaian atau peralatan Elektronika dengan fungsi-fungsi sebagai berikut :

[1]. Sebagai pengatur Volume pada berbagai peralatan Audio/Video seperti *Amplifier*, *Tape* Mobil, DVD *Player*.
[2]. Sebagai Pengatur Tegangan pada Rangkaian Power Supply
[3]. Sebagai Pembagi Tegangan
[4]. Aplikasi *Switch* TRIAC
[5]. Digunakan sebagai *Joystick* pada *Tranduser*
[6]. Sebagai Pengendali Level Sinyal

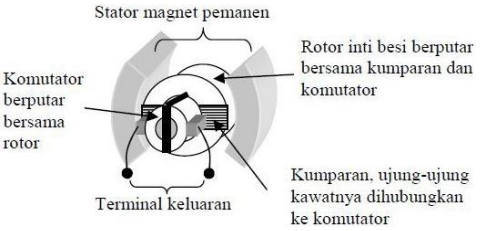
[5]. Tacho Generator

Sensor yang sering digunakan untuk sensor kecepatan *angular* adalah *tacho* generator. *Tacho* generator adalah sebuah generator kecil yang membangkitkan tegangan DC ataupun tegangan AC. Dari segi eksitasi *tacho* generator dapat dibangkitkan dengan eksitasi dari luar atau imbas elektromagnet dari magnet permanen. *Tacho* generator DC dapat membangkitkan tegangan DC yang langsung dapat menghasilkan informasi kecepatan, sensitivitas tacho generator DC cukup baik terutama pada daerah kecepatan tinggi. Tacho generator DC yang bermutu tinggi memiliki kutub-kutub magnet yang banyak sehingga dapat menghasilkan tegangan DC dengan riak gelombang yang berfrekuensi tinggi sehingga mudah diratakan. Keuntungan utama dari tacho generator ini adalah diperolehnya informasi dari arah putaran. Sedangkan kelemahannya adalah:

[1]. Sikat komutator mudah habis

[2]. Jika digunakan pada daerah bertemperatur tinggi, maka magnet permanen akan mengalami kelelahan, untuk kasus ini, tacho generator sering dikalibrasi

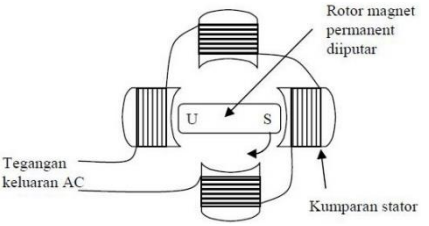
[3]. Peka terhadap debu dan korosi tacho generator AC berupa generator sinkron, magnet permanen diletakkan di bagian tengah yang berfungsi sebagai rotor. Sedangkan statornya berbentuk kumparan besi lunak. Ketika rotor berputar dihasilkan tegangan induksi di bagian statornya. Tipe lain dari tacho generator AC adalah tipe induksi, rotor dibuat bergerigi, stator berupa gulungan kawat berinti besi. Medan magnet permanen dipasang bersamaan di stator. Ketika rotor berputar, terjadi perubahan medan magnet pada gigi yang kemudian mengimbas ke gulungan stator. Kelebihan utama dari tacho generator AC adalah relatif tahan terhadap korosi dan debu, sedangkan kelemahannya adalah tidak memberikan informasi arah gerak.



Gambar 138 Konstruksi Tacho Generator DC

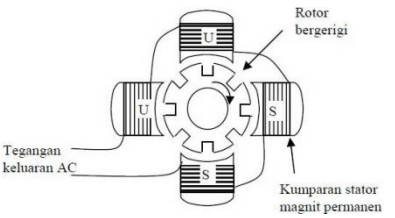
Tacho generator DC yang bermutu tinggi memiliki kutub kutub magnet yang banyak sehingga dapat menghasilkan tegangan DC dengan riak gelombang yang berfrekuensi tinggi sehingga mudah diratakan. Keuntungan utama dari tacho generator ini adalah diperolehnya informasi dari arah putaran. Sedangkan kelemahannya adalah : Sikat komutator mudah habis Jika digunakan pada daerah bertemperatur tinggi, maka magnet permanen akan mengalami kelelahan, untuk kasus ini, tacho generator sering dikalibrasi. Peka terhadap debu dan korosi tacho generator AC berupa generator sinkron, magnet permanen diletakkan di bagian tengah yang berfungsi sebagai rotor. Sedangkan statornya berbentuk kumparan besi lunak. Ketika rotor berputar dihasilkan tegangan induksi di bagian statornya. Tipe lain dari tacho generator AC adalah tipe induksi, rotor dibuat bergerigi,

stator berupa gulungan kawat berinti besi. Medan magnet permanen dipasang bersamaan di stator.



Gambar 139 Konstruksi Tacho Generator AC

Ketika rotor berputar, terjadi perubahan medan magnet pada gigi yang kemudian mengimbas ke gulungan stator. Kelebihan utama dari tacho generator AC adalah relatif tahan terhadap korosi dan debu, sedangkan kelemahannya adalah tidak memberikan informasi arah gerak.



Gambar 140 Konstruksi Tacho Generator AC dengan rotor bergerigi

❖ Sensor *Optic* (cahaya)

Sensor *optic* atau cahaya adalah sensor yang mendeteksi perubahan cahaya dari sumber cahaya, pantulan cahaya ataupun bias cahaya yang mengernai benda atau ruangan. Contoh; *photo cell*, *photo* transistor, *photo diode*, *photo voltaic*, *photo multiplier*, *pyrometer optic*. Sensor cahaya digunakan untuk mengubah besaran cahaya menjadi besaran listrik. Prinsip kerja dari alat ini adalah mengubah energi dari foton menjadi elektron. Idealnya satu foton dapat membangkitkan satu elektron. Sensor cahaya sangat luas penggunaannya, salah satu yang paling populer adalah kamera digital. Pada saat ini sudah ada alat yang digunakan untuk mengukur cahaya yang mempunyai 1 buah foton saja.

Elemen elemen sensitif cahaya merupakan alat terandalkan untuk mendeteksi energi cahaya. Alat ini melebihi sensitivitas mata manusia terhadap semua spektrum warna dan juga bekerja dalam

daerah-daerah ultraviolet dan infra merah. Energi cahaya bila diolah dengan cara yang tepat akan dapat dimanfaatkan secara maksimal untuk teknik pengukuran, teknik pengontrolan dan teknik kompensasi.

Penggunaan praktis alat sensitif cahaya ditemukan dalam berbagai pemakaian teknik seperti halnya :

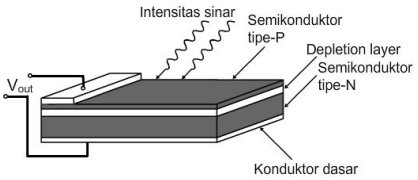
- Tabung cahaya atau foto tabung vakum (*vacuum type phototubes*), paling menguntungkan digunakan dalam pemakaian yang memerlukan pengamatan pulsa cahaya yang waktunya singkat, atau cahaya yang dimodulasi pada frekuensi yang relatif tinggi.
- Tabung cahaya gas (gas tipe *photo tubes*), digunakan dalam industri gambar hidup sebagai pengindra suara pada film.
- Tabung cahaya pengali atau pemfotodarap (*multiplier phottubes*), dengan kemampuan penguatan yang sangat tinggi, sangat banyak digunakan pada pengukuran fotoelektrik dan alat alat kontrol dan juga sebagai alat cacah kelipan (*scientillation counter*).
- Sel sel *fotokonduktif* (*photoconductive cell*), juga disebut tahanan cahaya (*photo* resistor) atau tahanan yang bergantung cahaya (LDR-*light dependent* resistor), dipakai luas dalam industri dan penerapan pengontrolan di laboratorium.

Jenis jenis sensor cahaya

[1]. *Photovoltaic* (Solar *Cell*/*Photocell*) Berfungsi untuk mengubah sinar matahari menjadi arus listrik DC. Tegangan yang dihasilkan sebanding dengan intensitas cahaya yang mengenai permukaan solar *cell*. Semakin kuat sinar matahari tegangan dan arus listrik DC yang dihasilkan semakin besar. Simbol Solar *Cell*:

Gambar 141 Lambang sensor cahaya

Bahan pembuat solar *cell* adalah *silicon*, *cadmium sullphide*, gallium arsenide dan selenium.



Gambar 142 Penampang solar *cell*

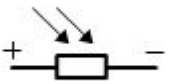
Depletion layer adalah pertemuan antara substrat tipe P dan substrat tipe N. Prinsip kerja: Bila cahaya jatuh pada solar *cell*, *depletion* layer akan berkurang dan elektron berpindah melalui hubungan "pn". Besarnya arus yang mengalir sebanding dengan perpindahan elektron yang ditentukan intensitas cahayanya.

[2]. Photoconductive

Berfungsi untuk mengubah intensitas cahaya menjadi perubahan konduktivitas. Kebanyakan komponen ini terbuat dari bahan *cadmium solenoid* atau *cadmium sulfide*.

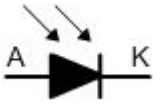
Tipe tipe *Photoconductive*:

- LDR (Light *Dependent* Resistor)Berfungsi untuk mengubah intensitas cahaya menjadi hambatan listrik. Semakin banyak cahaya yang mengenai permukaan LDR hambatan listrik semakin besar.



Gambar 143 Simbol LDR

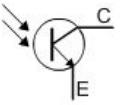
- Foto dioda Berfungsi untuk mengubah intensitas cahaya menjadi konduktivitas dioda. Foto dioda sejenis dengan dioda pada umumnya, perbedaannya pada fotodiode ini adalah dipasangnya sebuah lensa pemfokus sinar untuk memfokuskan sinar jatuh pada pertemuan "pn"



Gambar 144 Simbol Foto dioda

Prinsip kerja: Energi pancaran cahaya yang jatuh pada pertemuan "pn" menyebabkan sebuah elektron berpindah ke tingkat energi yang lebih tinggi. Elektron berpindah ke luar dari valensi *band* meninggalkan *hole* sehingga membangkitkan pasangan elektron bebas dan *hole*.

- Foto transistor Berfungsi untuk mengubah intensitas cahaya menjadi konduktivitas transistor. Foto transistor sejenis dengan transistor pada umumnya. Bedannya, pada foto transistor dipasang sebuah lensa pemfokus sinar pada kaki basis untuk memfokuskan sinar jatuh pada pertemuan "pn".



Gambar 145 Foto Transistor

- Sensor Cahaya Infra Merah
  Sensor cahaya infra merah adalah sensor cahaya yang hanya akan merespons perubahan cahaya inframerah. Sensor cahaya infra merah pada umumnya berupa foto transistor atau foto dioda. Dimana apabila sensor cahaya infra merah ini menerima pancaran cahaya infra merah maka pada terminal output nya akan memberikan perubahan resistansi. Akan tetapi ada juga sensor cahaya yang telah dibuat dalam bentuk *chip* IC penerima sensor infra merah seperti yang digunakan pada penerima *remote* televisi. Dimana *chip* IC sensor infra merah ini akan memberikan perubahan tegangan *output* apabila IC sensor infra merah ini menerima pancaran cahaya infra merah. Berikut adalah bentuk dari IC sensor infra merah tersebut.

Gambar 146 Sensor cahaya Infra *red*

❖ Sensor Cahaya Ultraviolet

Merupakan sensor cahaya yang hanya merespons perubahan intensitas cahaya ultraviolet yang mengenainya. Sensor cahaya ultraviolet ini akan memberikan perubahan besaran listrik pada terminal *output* nya pada saat menerima perubahan intensitas pancaran cahaya ultraviolet. Sensor cahaya yang populer salah satunya UVtron. Modul sensor cahaya UVtron akan memberikan perubahan tegangan *output* pada saat sensor UVtron menerima perubahan intensitas cahaya ultraviolet. Berikut adalah bentuk modul sensor cahaya UVtron.

Gambar 147 Sensor cahaya Ultraviolet

Bahan diskusi dan Tugas

1. Jelaskan apa yang anda ketahuai tentang sistem kontrol sekuens dan berikan 3 contohnya
2. Jelaskan tahapan dalam menganalisa sistem pengaturan
3. Metode apa yang dapat dilakukan dalam menganalisa sistem pengaturan
4. Jelaskan kelebihan dan kekurangan LVDT
5. Jelaskan klasifikasi sensor dan berika 3 contoh penerapannya

BAB 6

Sistem Logika

Masdania Zurairah,SR
Wahdatul Wujud

SISTEM LOGIKA

Gerbang Logika atau dalam bahasa Inggris disebut dengan Logic Gate adalah dasar pembentuk Sistem Elektronika Digital yang berfungsi untuk mengubah satu atau beberapa Input (masukan) menjadi sebuah sinyal Output (Keluaran) Logis. Gerbang Logika beroperasi berdasarkan sistem bilangan biner yaitu bilangan yang hanya memiliki 2 kode simbol yakni 0 dan 1 dengan menggunakan Teori Aljabar Boolean[10]. Gerbang Logika yang diterapkan dalam Sistem Elektronika Digital pada dasarnya menggunakan Komponen-komponen Elektronika seperti *Integrated Circuit* (IC), *Dioda*, Transistor, *Relay*, Optik maupun Elemen Mekanikal.

Jenis Gerbang Logika

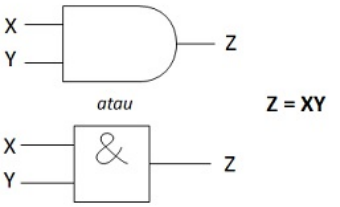
Input dan *Output* pada Gerbang Logika hanya memiliki 2 level. Kedua Level tersebut pada umumnya dapat dilambangkan dengan: HIGH (tinggi) dan LOW (rendah), TRUE (benar) dan FALSE (salah), ON (Hidup) dan OFF (Mati), 1 dan 0 Contoh Penerapannya ke dalam Rangkaian Elektronika yang memakai Transistor TTL (*Transistor transistor Logic*), maka 0 V dalam Rangkaian akan diasumsikan sebagai "LOW" atau "0" sedangkan 5V akan diasumsikan sebagai "HIGH" atau "1". Terdapat 7 jenis Gerbang Logika Dasar yang membentuk sebuah Sistem Elektronika Digital, yaitu :

[1]. Gerbang AND (AND *Gate*)

Gerbang AND memerlukan 2 atau lebih Masukan (*Input*) untuk menghasilkan hanya 1 Keluaran (*Output*). Gerbang AND akan menghasilkan Keluaran (*Output*) Logika 1 jika semua masukan (*Input*) bernilai Logika 1 dan akan menghasilkan Keluaran (*Output*) Logika 0 jika salah satu dari masukan (*Input*) bernilai Logika 0. Simbol yang menandakan Operasi Gerbang Logika

[10] Aljabar Boolean atau dalam bahasa Inggris disebut dengan Boolean Algebra adalah matematika yang digunakan untuk menganalisis dan menyederhanakan Gerbang Logika pada Rangkaian-rangkaian Digital Elektronika.

AND adalah tanda titik (“.”) atau tidak memakai tanda sama sekali. Contohnya : Z = X.Y atau Z = XY.



Gambar 148 Simbol Gerbang AND

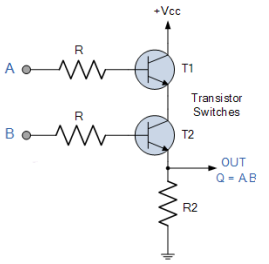
Tabel 6 Kebenaran AND

X	Y	Z
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

Perhatikan tabel kebenaran tersebut bahwa Z = 1 hanya apabila kondisi X dan Y = 1. Total kombinasi yang memungkinkan adalah 2^N, dimana N merupakan jumlah *input* , dalam hal ini maka N = 2, sehingga $2^2 = 4$, kemudian seterusnya.

Transistor Gerbang AND 2 *Input*

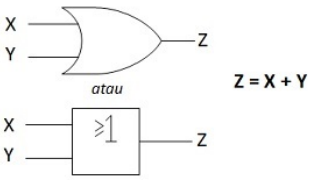
Secara sederhana, gerbang AND 2 *input* dapat dibangun menggunakan RTL Resistor-Transistor *Switch* yang terhubung bersama dengan *input* yang terhubung langsung ke basis transistor. Adapun kedua transistor harus berada pada kondisi jenuh "ON" untuk keluaran Q.



Gambar 149 Transistor Gerbang AND 2 *Input*

[2]. Gerbang OR (OR *Gate*)

Gerbang OR memerlukan 2 atau lebih Masukan (*Input*) untuk menghasilkan hanya 1 Keluaran (*Output*). Gerbang OR akan menghasilkan Keluaran (*Output*) 1 jika salah satu dari Masukan (*Input*) bernilai Logika 1 dan jika ingin menghasilkan Keluaran (*Output*) Logika 0, maka semua Masukan (*Input*) harus bernilai Logika 0.Simbol yang menandakan Operasi Logika OR adalah tanda Plus ("+"). Contohnya : Z = X + Y.



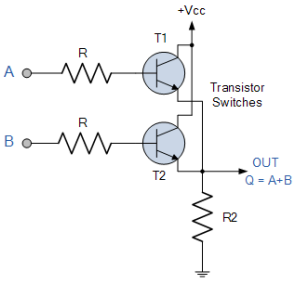
Gambar 150 Simbol Gerbang OR

Tabel 7 Kebenaran OR

X	Y	Z
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

Transistor Gerbang OR 2 *Input*

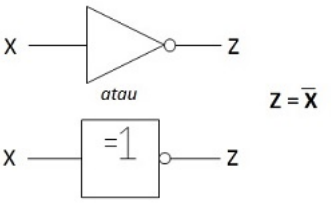
Secara sederhana, gerbang OR 2 *input* dapat dibangun menggunakan RTL Resistor Transistor *Switch* yang terhubung bersama dengan *input* yang terhubung langsung ke basis transistor. Adapun kedua transistor harus berada pada kondisi jenuh "ON" untuk keluaran Q



Gambar 151 Transistor Gerbang OR 2 *Input*

[3]. Gerbang NOT (NOT *Gate*)

Gerbang NOT hanya memerlukan sebuah Masukan (*Input*) untuk menghasilkan hanya 1 Keluaran (*Output*). Gerbang NOT disebut juga dengan *Inverter* (Pembalik) karena menghasilkan Keluaran (*Output*) yang berlawanan (kebalikan) dengan Masukan atau *Inputnya*. Berarti jika kita ingin mendapatkan Keluaran (*Output*) dengan nilai Logika 0 maka *Input* atau Masukannya harus bernilai Logika 1. Gerbang NOT biasanya dilambangkan dengan simbol minus ("-") di atas Variabel *Inputnya*.



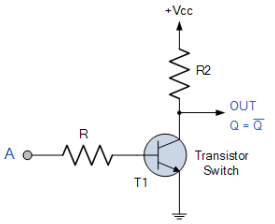
Gambar 152 Simbol Gerbang NOT

Tabel 8 Kebenaran NOT

X	Z
0	1
1	0

Transistor Gerbang NOT

Tidak seperti pada gerbang AND dan Gerbang OR, Gerbang NOT tidak dapat dibuat menggunakan RTL Resistor Transistor *Switch* yang terhubung langsung ke basis transistor. Adapun transistor harus berada pada kondisi jenuh "ON" dan untuk *output* "OFF" terbalik pada keluaran Q.

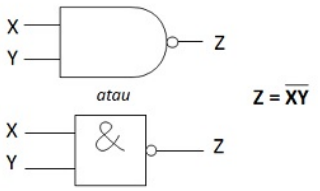


Gambar 153 Transistor Gerbang NOT

Pada gerbang logika NOT digunakan untuk menghasilkan fungsi logis yang diinginkan, Adapun gerbang NOT standar diberi simbol yang bentuknya segitiga menunjuk ke kanan dengan lingkaran di ujungnya. Lingkaran ini dikenal sebagai "gelembung inversi" dan digunakan dalam simbol NOT, NAND dan NOR pada keluarannya (*output*) untuk merepresentasikan operasi logis dari fungsi NOT. Gelembung ini menunjukkan inversi sinyal (komplementasi) dari sinyal dan dapat hadir pada salah satu atau kedua *output* dan / atau terminal *input*. Karena hanya memiliki satu *input*, Gerbang NOT secara umum tidak dikategorikan sebagai "*Decision Maker*" atau pengambil keputusan. Tidak seperti gerbang AND dan OR yang mempunyai *input* 2 atau lebih. Di pasaran sendiri IC gerbang NOT hanya tersedia dalam 4 atau 6 gerbang di 1 paket IC. "Gelembung" (o) yang terdapat pada akhir simbol gerbang NOT menunjukkan inversi sinyal (Komplementasi) dari sinyal *outputnya*, tetapi gelembung (o) ini juga terdapat pada *input* gerbang yang menandakan *input* aktif RENDAH. Harus diingat bahwa pembalikan sinyal *input* ini tidak hanya terbatas pada gerbang NOT saja karena juga dapat digunakan pada sirkuit digital atau gerbang pada operasi inversi yang persis sama baik pada terminal *input* atau *output*. Cukup menganggap gelembung tersebut hanya sebagai *inverter*.

[4]. Gerbang NAND (NAND *Gate*)

Arti NAND adalah NOT AND atau BUKAN AND, Gerbang NAND merupakan kombinasi dari Gerbang AND dan Gerbang NOT yang menghasilkan kebalikan dari Keluaran (*Output*) Gerbang AND. Gerbang NAND akan menghasilkan Keluaran Logika 0 apabila semua Masukan (*Input*) pada Logika 1 dan jika terdapat sebuah *Input* yang bernilai Logika 0 maka akan menghasilkan Keluaran (*Output*) Logika



Gambar 154 Simbol Gerbang NAND

Tabel 9 Kebenaran NAND

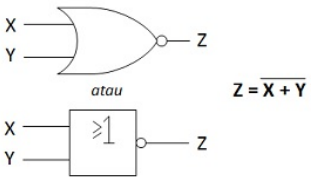
X	Y	Z
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0

Transistor Gerbang NAND

Secara sederhana, gerbang logika NAND 2 *input* dapat dibangun menggunakan RTL Resistor-transistor *Switch* yang terhubung bersama degan *input* yang terhubung langsung ke basis transistor, dimana transistor harus dalam keadaan *cut-off* "MATI" untuk keluaran Q. Gerbang logika NAND dapat menghasilkan fungsi logis yang diinginkan dengan simbol berupa gerbang AND standar dengan tambahan lingkaran (biasa juga disebut sebagai "Gelembung Inversi" pada bagian *output* yang mana mewakili gerbang NOT) yang disebut sebagai operasi logika NAND.

[5]. Gerbang NOR (NOR *Gate*)

Arti NOR adalah NOT OR atau BUKAN OR, Gerbang NOR merupakan kombinasi dari Gerbang OR dan Gerbang NOT yang menghasilkan kebalikan dari Keluaran (*Output*) Gerbang OR. Gerbang NOR akan menghasilkan Keluaran Logika 0 jika salah satu dari Masukan (*Input*) bernilai Logika 1 dan jika ingin mendapatkan Keluaran Logika 1, maka semua Masukan (*Input*) harus bernilai Logika 0.



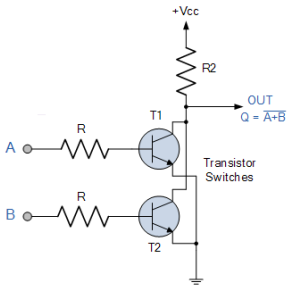
Gambar 155 Simbol Gerbang NOR

Tabel 10 Kebenaran NOR

X	Y	Z
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	0

Transistor Gerbang NOR

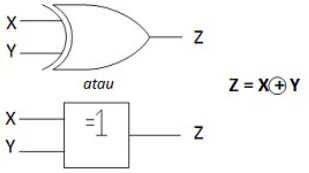
Secara sederhana, gerbang logika NOR dapat dibangun dengan menggunakan RTL *Resistor Transistor Switch* yang dihubungkan secara bersama-sama dengan *input* yang terhubung langsung ke basis transistor. Kedua transistor harus dalam keadaan *cut off* "MATI" untuk keluaran Q



Gambar 156 Transistor Gerbang NOR

[6]. Gerbang X-OR (X-OR *Gate*)

X-OR adalah singkatan dari *Exclusive* OR yang terdiri dari 2 Masukan (*Input*) dan 1 Keluaran (*Output*) Logika. Gerbang X-OR akan menghasilkan Keluaran (*Output*) Logika 1 jika semua Masukan-masukannya (*Input*) mempunyai nilai Logika yang berbeda. Jika nilai Logika *Inputnya* sama, maka akan memberikan hasil Keluaran Logika 0.



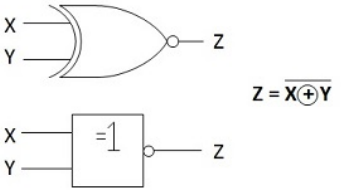
Gambar 157 Simbol Gerbang X-OR

Tabel 11 Kebenaran X-OR

X	Y	Z
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	1

[7]. Gerbang X-NOR (X-NOR *Gate*)

Seperti Gerbang X-OR, *Gerban* X-NOR juga terdiri dari 2 Masukan (*Input*) dan 1 Keluaran (*Output*). X-NOR adalah singkatan dari *Exclusive* NOR dan merupakan kombinasi dari Gerbang X-OR dan Gerbang NOT. Gerbang X-NOR akan menghasilkan Keluaran (*Output*) Logika 1 jika semua Masukan atau *Inputnya* bernilai Logika yang sama dan akan menghasilkan Keluaran (*Output*) Logika 0 jika semua Masukan atau *Inputnya* bernilai Logika yang berbeda. Hal ini merupakan kebalikan dari Gerbang X-OR (*Exclusive* OR).



Gambar 158 Simbol Gerbang X-NOR

Tabel 12 Kebenaran X-NOR

X	Y	Z
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

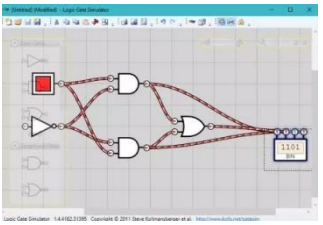
Aplikasi Simulasi Gerbang Logika

Untuk memahami konsep penerapan Gerbang Logika yang sedang dibahas, ada baiknya dalam penerapannya dapat digunakan *software* pendukung seperti :

[1]. *Logic Gate* Simulator

Logic Gate Simulator adalah *software* simulasi *open source*. Ini memungkinkan mendesain sirkuit logika, mensimulasikan nya, dan melihat *output* pada osiloskop. dapat *download Logic Gate* Simulator [https://sourceforge.net/projects/gatesim/].

Dapat memuat rangkaian format *.gcg* atau mendesainnya dari awal. Untuk desain sirkuit logika, berbagai komponen tersedia. Antarmuka diatur dengan cara yang sangat bagus, sehingga memudahkan mendesain sirkuit. dapat menemukan daftar gerbang Dasar, gerbang Senyawa, dan gerbang *Input / Output*. Dapat membuat IC khusus dengan bergabung dengan sekelompok komponen dan menyimpannya untuk digunakan nanti. Sebuah desain dapat disimpan dalam format *.gcg*, atau dapat mengekspor desain sebagai gambar. Dapat juga mengambil cetakan desain. *Logic Gate* Simulator dirancang khusus untuk membuat dan mensimulasikan rangkaian logika.

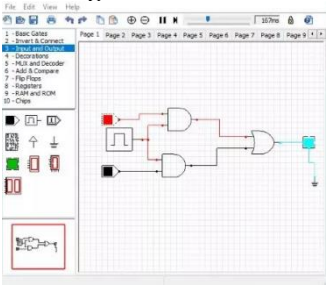


Gambar 159 Digital Logic Design

[2]. CEDAR *Logic Simulator*

CEDAR *Logic Simulator* adalah *software* desain sirkuit open *source* dan *software* simulasi sirkuit lainnya. dapat menggunakannya untuk merancang dan mensimulasikan rangkaian logis sederhana maupun kompleks. Bentuk gelombang keluaran dari sirkuit yang disimulasikan dapat dilihat pada osiloskop terintegrasi. Bisa *download* CEDAR *logic* simulator [https://sourceforge.net/projects/digitalcircuitdesign/]. kita dapat memilih dari daftar komponen elektronik dan logis untuk merancang sirkuit. Dalam daftar komponen, kita akan dapat menemukan gerbang logis dasar, perangkat *input* dan *output*, MUX dan *decoder*, *flip flops*, register, RAM dan ROM, dan *chip* . Salah satu hal terbaik tentang simulator sirkuit elektronik ini adalah dapat mendesain banyak sirkuit di sini dalam berbagai

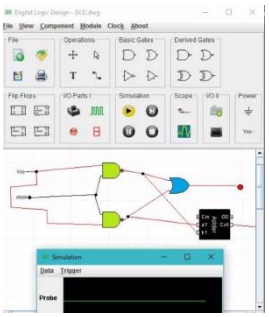
tab, serta dapat memuat atau menyimpan *file* sirkuit di ruang kerjanya. Ini mendukung format .cdl.



Gambar 160 Digital *Logic* Design

[3]. Digital *Logic* Design

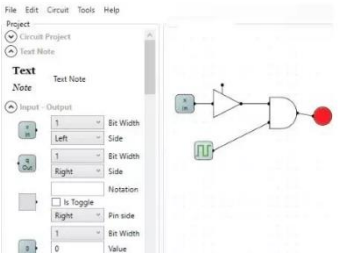
Digital *Logic* Design adalah simulator rangkaian logika sederhana lainnya. Ini adalah *software* simulasi rangkaian *open source* untuk *Windows, Mac, dan Linux*. Ini memungkinkan kita mendesain dan mensimulasikan rangkaian logis dengan daftar komponen logis pada papan tulis. Digital *Logic* Design dapat di *download*
[https://sourceforge.net/projects/digitalcircuitdesign/].
Komponen yang akan temukan di sini adalah *basic logic gates, derived logic gates, flip flops, input/output parts*. Dapat di tambahkan ke rangkaian, seperti: penambah, pengurangan, pembanding, *konverter, encoder, decoder, Mux / DeMux, penghitung, register, memori, ALU*, *Probe* dan *osiloskop* juga tersedia untuk menganalisis *output* setelah simulasi.



Gambar 161 Digital *Logic* Design

[4]. *Logical Circuit*

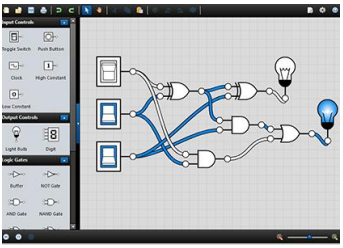
Logical Circuit adalah *software* simulasi rangkaian *logis open source* lain yang bias dipakai sebagai alternatif. Seperti yang lain, ini memungkinkan kita merancang dan mensimulasikan rangkaian. *Software* ini dapat menambahkan parameter ke komponen sebelum menambahkan ke papan desain sirkuit. Bisa *download Logical Circuit* [http://www.logiccircuit.org/download.html]. Akan menemukan gerbang logis, perangkat *input*, perangkat *output*, sensor, jam, LED, tampilan 7 segmen, matriks LED, *buzzer*, probe. Untuk mensimulasikan rangkaian, cukup tekan tombol *Power*, opsi memungkinkan melihat tabel kebenaran dari sirkuit yang dirancang. *Osiloskop* juga dapat ditambahkan untuk melihat bentuk gelombang keluaran. Sebuah sirkuit dapat disimpan sebagai *file Circuit Project* untuk disesuaikan atau dilihat nanti.



Gambar 162 Logical Circuit

[5]. Logic.ly

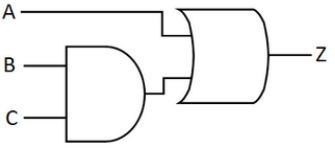
Logic.ly merupaka *software* yang dapat digunakan sebagai simulasi logika, *software* tersebut merupakan aplikasi yang dapat di *download* gratis namun berbayar dengan jangka waktu tertentu. Penggunaannya dapat langsung digunakan ketika membuka situs resminya yaitu [https://logic.ly/] dan dapat dilakukan simulasi tanpa *mendownload softwarenya* secara langsung.



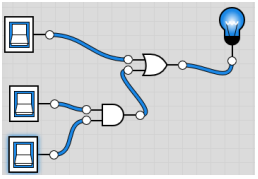
Gambar 163 Logic.ly

Bahan diskusi dan Tugas contoh soal

1. Buatlah rangkaian dan tabel kebenaran dari soal latihan dibawah ini dan simulasikan dan gambarkan degan Logic.ly.!
   Z = A + (B.C)
   Z = (A+B).C
   Z = (A+B). A'
   Z = (A.B)+B
   Pada pembahasan sebelumnya belum disampaikan mengenai simbol AND, OR dan NOT untuk AND diwakili dengan simbol (.) OR diwakili dengan simbol (+) NOT diwakili dengan simbol (')
   Jawab :
   a. Z = A + (B.C)



Gambar 164 Rangkaian Z = A + (B.C)

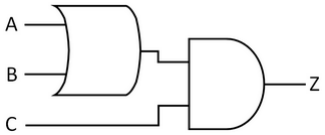


Gambar 165 Simulasi Z = A + (B.C) Logic.ly

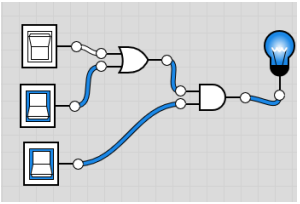
Tabel 13 Tabel Kebenaran Z = A+(B.C)

A	B	C	B.C	A+(B.C)
0	0	0	0	0
0	0	1	0	0
0	1	0	0	0
0	1	1	1	1
1	0	0	0	1
1	0	1	0	1
1	1	0	0	1
1	1	1	1	1

b. Z = (A+B).C



Gambar 166 Rangkaian Z = (A+B).C

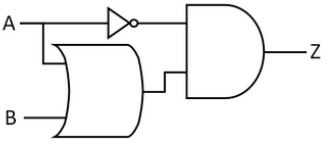


Gambar 167 Rangkaian Z = (A+B).C Logic.ly

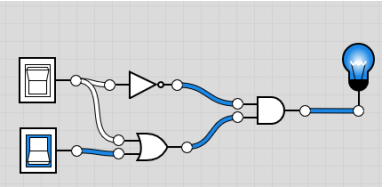
Tabel 14 Kebenaran Z = (A+B).C

A	B	C	A+B	(A+B).C
0	0	0	0	0
0	0	1	0	0
0	1	0	1	0
0	1	1	1	1
1	0	0	1	0
1	0	1	1	1
1	1	0	1	0
1	1	1	1	1

c. Z = (A+B).A′



Gambar 168 Rangkaian Z = (A+B).A′

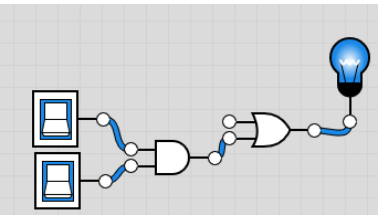


Gambar 169 Rangkaian Z = (A+B).A′ Logic.ly

Tabel 15 Kebenaran Z = (A+B).A'

A	B	A+B	A'	(A+B).A'
0	0	0	1	0
0	1	1	1	1
1	0	1	0	0
1	1	1	0	0

d. Z = (A.B)+B



Gambar 170 Rangkaian Z = (A.B)+B Logic.ly

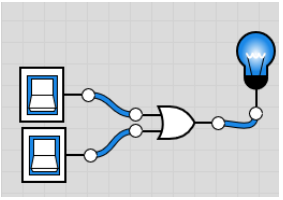
Tabel 16 Kebenaran Z = A+(B.C)

A	B	A.B	(A.B)+B
0	0	0	0
0	1	0	0
1	0	0	0
1	1	1	1

2. Sederhanakan fungsi logika berikut, gambarkan rangkaian gerbang logika dasar penyederhanaan dengan logic.ly, dan tabel kebenarannya!
   a. F = AB' + A'B + AB (dua variabel)
   b. F = ABC + A'BC + AB'C (tiga variabel)
   c. F = A'B'C'D + A'BC'D + A'B'CD (empat variabel)

Jawab

a. F = AB' + A'B + AB Penyederhanaan dengan Aljabar
   F = AB' + A'B + AB
   F = A(B'+B) + A'B
   F = A(1) + AB
   F = A + A'B
   F = A + B



Gambar 171 Rangkaian F = A+B

Tabel 17 Kebenaran F = A+B

INPUT		OUTPUT
A	B	F = A+B
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

b. F = ABC + A'BC + AB'C Penyederhanaan dengan Aljabar

F = ABC + A'BC + AB'C

F = (A+A') BC + AB'C

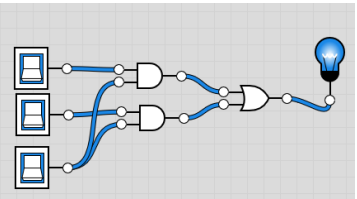
F = (1) BC + AB'C

F = BC + AB'C

F = (B+AB') C

F = (B+A) C

F = BC + AC



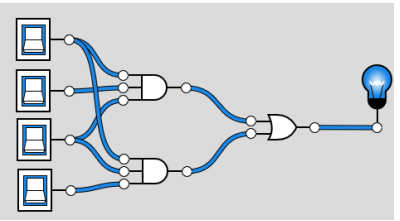
Gambar 172 Rangkaian F = ABC + A'BC + AB'C

Tabel 18 Kebenaran F = ABC + A'BC + AB'C

INPUT					OUTPUT
A	B	C	BC	AC	F = ABC+A'BC+AB'C
0	0	0	0	0	0
0	0	1	0	0	0
0	1	0	0	0	0
0	1	1	1	0	1
1	0	0	0	0	0
1	0	1	0	1	1
1	1	0	0	0	0
1	1	1	1	0	1

c. F = A'B'C'D + A'BC'D + A'B'CD Penyederhanaan dengan Aljabar

F = A'B'C'D + A'BC'D + A'B'CD
F = AB'CD + ABC (D'+D)
F = AB'CD + ABC (1)
F = AB'CD + ABC
F = AC (B'D+B)
F = AC (B+D)
F = ABC + ACD



Gambar 173 Rangkaian F = A'B'C'D + A'BC'D + A'B'CD

Tabel 19 Kebenaran F = A'B'C'D + A'BC'D + A'B'CD

INPUT						OUTPUT
A	B	C	D	ABC	ACD	F = ABC+ACD
0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	1	0	0	0
0	0	1	0	0	0	0
0	0	1	1	0	0	0
0	1	0	0	0	0	0
0	1	0	1	0	0	0
0	1	1	0	0	0	0
0	1	1	1	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0
1	0	0	1	0	0	0
1	0	1	0	0	0	0
1	0	1	1	0	1	1
1	1	0	0	0	0	0
1	1	0	1	0	0	0
1	1	1	0	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1

BAB 7

Sistem Digital dan Akuisisi Data

Masdania Zurairah,SR
Wahdatul Wujud

SISTEM DIGITAL

Sistem dapat didefinisikan sebagai satu kesatuan komponen yang mampu menghasilkan sinyal keluaran yang dikehendaki dari masukan sinyal yang diberikan kepadanya. Dalam dunia Teknik, sistem dapat digunakan untuk menyatakan sistem perangkat lunak, sistem elektronik, sistem komputer atau sistem mekanik. Pada dasarnya ada 2 cara untuk merepresentasikan atau menyatakan nilai bilangan dari suatu kuantitas yaitu secara analog dan digital.

a. Representasi Analog

Pada representasi analog suatu kuantitas dinyatakan dengan kuantitas yang lain yang berbanding lurus dengan kuantitas yang akan representasikan. Contoh representasi analog adalah spedometer sepeda motor, dalam hal ini kecepatan sepeda motor dinyatakan dengan simpangan jarum spedometer, simpangan jarum spedometer selalu mengikuti perubahan yang terjadi pada saat kecepatan sepeda motor naik atau turun. Contoh lain adalah kuantitas pada mikrofon audio, tegangan *output* yang dihasilkan mikrofon sebanding dengan amplitudo gelombang suara yang masuk pada mikrofon, perubahan perubahan pada tegangan *outpput* mikrofon selalu mengikuti perubahan yang terjadi pada *input* yang masuk pada mikrofon. Sesuai dengan contoh di atas, kuantitas analog mempunyai karakteristik dapat berubah secara bertingkat pada suatu rentang harga tertentu. Dalam rentang tertentu kecepatan sepeda motor dari 0 sampai 100 Km/h kecepatan bisa pada (10 Km/h, 20 Km/h, 40 Km/h, 60 Km/h, atau 99 Km/h). Dapat disimpulkan Pada representasi analog perubahan kuantitasnya berlangsung secara kontinu.

b. Representasi Digital

Pada representasi digital, kuantitas tidak dinyatakan dengan kuantitas yang sebanding tetapi dinyatakan dengan simbol simbol yang disebut digit. Contoh pada jam digital yang menunjukkan waktu dalam bentuk digit digit desimal yang

menyatakan Jam, menit dan detik. Perubahan menit atau detik yang terbaca dalam jam digital tidak berubah secara kontinu tetapi berubah step demi step secara diskrit, berbeda dengan jam tangan analog yang skala penunjukan waktunya berubah secara kontinu. Dapat disimpulkan Pada representasi digital perubahan kuantitas berlangsung secara diskrit step demi step. Karena representasi digital mempunyai sifat diskrit, maka pada saat pembacaan harga suatu kuantitas digital tidak ada penafsiran yang mendua berbeda dengan harga suatu kuantitas analog sering timbul penafsiran yang berbeda

Sistem Digital

Sistem digital adalah suatu kombinasi peralatan listrik, mekanis, *fotolistrik* dan lainnya yang disusun untuk melaksanakan fungsi fungsi tertentu, yang mana kuantitas kuantitasnya dinyatakan secara digital. Beberapa alat yang menggunakan sistem digital antara lain adalah komputer digital, kalkulator, volt meter digital dan mesin-mesin yang dikontrol secara numerik. Secara garis besar sistem digital memberikan keuntungan keuntungan berupa kecepatan, kecermatan, kemampuan memori, tidak mudah terpengaruh oleh perubahan-perubahan karakteristik komponen sistem dan pada umumnya mampu digunakan pada rentang pemakaian yang lebih luas.

Beberapa kelebihan dari sistem digital adalah :

1. Teknologi digital menawarkan biaya lebih rendah, keandalan (*reability*) lebih baik, pemakaian ruang yang lebih kecil dan konsumsi daya yang lebih rendah
2. Teknologi digital membuat kualitas komunikasi tidak tergantung pada jarak
3. Teknologi digital lebih bergantung pada *noise*
4. Jaringan digital ideal untuk komunikasi data yang semakin berkembang
5. Teknologi digital memungkinkan pengenalan layanan-layanan baru
6. Teknologi digital menyediakan kapasitas transmisi yang besar
7. teknologi digital menawarkan fleksibilitas Keuntungan lain dari sistem digital

Sistem digital juga mempunyai beberapa kekurangan dibandingkan dengan sistem analog, bahwa sistem digital memerlukan *bandwidth* yang besar. Sebagai contoh, sebuah kanal suara tunggal dapat ditransmisikan menggunakan *single sideband* AM dengan *bandwidth* yang kurang dari 5 kHz. Dengan menggunakan sistem digital, untuk mentransmisikan sinyal yang sama, diperlukan *bandwidth* hingga empat kali dari sistem analog. Kerugian yang lain adalah selalu harus tersedia sinkronisasi. Ini penting bagi sistem untuk mengetahui kapan setiap simbol yang terkirim mulai dan kapan berakhir, dan perlu meyakinkan apakah setiap simbol sudah terkirim dengan benar.

Sistem Analog

Pada umumnya kuantitas-kuantitas fisik prinsipnya bersifat analog, pada sistem analog kuantitas kuantitas berubah secara gradual pada suatu rentang kontinu. Contoh sistem analog adalah komputer analog, *sistem broadcast radio*, dan rekaman pita audio. Pada siaran radio AM kita dapat menyetel radio pada setiap frekuensi sepanjang rentang *band* dari 535 K Hz sampai 1605 K Hz secara kontinu.

Kelebihan :
Pemrosesan Sinyal dari Alam secara alamiah, sinyal yang dihasilkan alam itu adalah berbentuk analog. misalnya sinyal suara dari *mikrofon, seismograph*. Walaupun kemudian bisa diproses dalam domain digital, sehingga banyak alat yang mempunyai bagian ADC dan DAC. Pembuatan ADC dan DAC dengan presisi dan kecepatan tinggi, konsumsi daya rendah itu sangat sulit, ini memerlukan komponen analog juga.

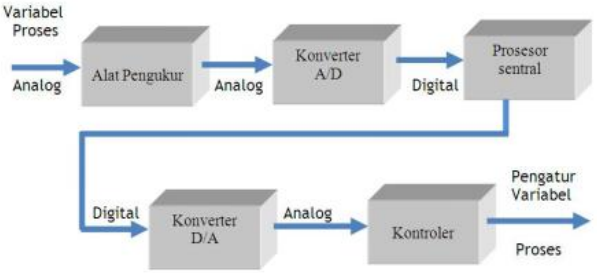
Sistem Hibrid

Kebanyakan sistem pengendalian pada proses industri adalah sistem *hybrid*, sistem ini merupakan gabungan dari kuantitas digital dan kuantitas analog. Pada sistem *hybrid* terjadi konversi terus menerus antara kuantitas digital dan analog. Dalam kenyataannya hampir semua kuantitas adalah bersifat analog yang kuantitas-kuantitasnya sering diukur dimonitor dan dikontrol.

Sistem pengendalian proses industri yang mempunyai kuantitas-kuantitas seperti, temperatur, tekanan, permukaan cairan dan kecepatan aliran diukur dan dikendalikan dengan sistem *hybrid* yang memanfaatkan keuntungan-keuntungan dari sistem digital.

Kelemahan :
Perlu pengertian tentang sistem Analog mengapa analog lebih sulit dari sistem digital, yakni :

1. Digital hanya mempertimbangkan *speed, power dissipation analog* harus mempertimbangkan *speed, power dissipation, gain, precession, supply voltage*
2. Analog lebih sensitif terhadap *derau/noise, crosstalk* dan *interferensi* (kecepatan & presisi)
3. Jarang yang bisa diotomatisasi dalam perancangan seperti digital yang bisa di *Lay out* dan *sintesis* secara otomatis.
4. Modeling & *Simulation* untuk analog memerlukan pengalaman karena banyak efek dan perilaku yang "aneh"
5. Teknologi sekarang banyak digunakan dan dirancang untuk memproduksi produk digital, karena sulit kalau mau memproduksi yang analog.



Gambar 174 Diagram Blok Sistem Hibrid

Gambar 174 menunjukkan diagram blok pengendalian sistem *hybrid*, *input* kuantitas analognya diukur, kemudian kuantitas analog diubah menjadi kuantitas digital oleh *konverter analog* ke digital. Selanjutnya kuantitas digital diproses oleh prosesor sentral. Hasil *output* dari prosesor sentral diubah kembali menjadi kuantitas analog oleh *converter* digital ke analog untuk diumpankan pada rangkaian kontroler guna memberikan pengaruh pada pengaturan harga pada kuantitas analog asal yang telah ditetapkan.

Kelebihan :

1. Mampu mengirim informasi dengan kecepatan cahaya yang mengakibatkan informasi dapat dikirim dengan kecepatan tinggi.
2. Penggunaan yang berulang ulang terhadap informasi tidak mempengaruhi kualitas dan kuantitas informasi itu sendiri.

Sinyal

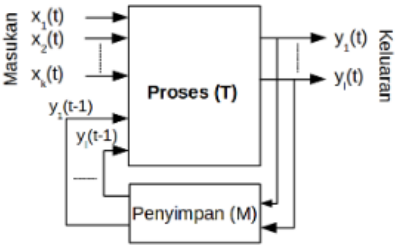
Sinyal umumnya harus diproses dalam berbagai cara. Sebagai contoh, sinyal *output* dari sebuah transduser mungkin terkontaminasi dengan listrik yang tidak diinginkan "*noise*". Elektroda menempel pada dada pasien ketika EKG diambil mengukur perubahan tegangan listrik kecil karena aktivitas jantung dan otot otot lain. Sinyal sering sangat dipengaruhi oleh "induk *pickup*" karena gangguan listrik dari suplai utama. Pengolahan sinyal menggunakan rangkaian penyaring dapat menghapus atau setidaknya mengurangi bagian yang tidak diinginkan dari sinyal. Semakin dewasa ini, yang menyaring sinyal untuk meningkatkan kualitas sinyal atau untuk mengekstrak informasi penting yang dilakukan oleh DSP teknik bukan oleh analog elektronik. Sinyal diproses sehingga mengandung informasi yang mereka dapat ditampilkan, dianalisis, atau dikonversikan ke sinyal jenis lain yang mungkin digunakan. Dalam dunia nyata, produk mendeteksi sinyal analog seperti suara, cahaya, suhu atau tekanan dan memanipulasi mereka. Seperti *konverter analog* ke *digital converter* kemudian mengambil dunia nyata sinyal dan mengubahnya menjadi format digital 1's dan 0's. Dari sini, para DSP mengambil alih oleh menangkap informasi digital dan memprosesnya. Kemudian memberi makan informasi digital kembali untuk digunakan di dunia nyata. Hal ini dalam salah satu dari dua cara, baik digital atau dalam format analog dengan pergi melalui *Digital to Analog converter*. Semua ini terjadi pada kecepatan yang sangat tinggi.

a. Sinyal waktu kontinu (*continuous time signal*)
b. Sinyal waktu diskrit (*discrete time* signal)

Pada sinyal kontinu, *variable independent* (yang berdiri sendiri) terjadi terus-menerus dan kemudian sinyal dinyatakan sebagai

sebuah kesatuan nilai dari *variable independent*. Sebaliknya, sinyal diskrit hanya menyatakan waktu diskrit dan mengakibatkan variabel *independent* hanya merupakan himpunan nilai diskrit. Fungsi sinyal dinyatakan sebagai x dengan untuk menyertakan *variable* dalam tanda (.). Untuk membedakan antara sinyal waktu kontinu dengan sinyal waktu diskrit kita menggunakan simbol t untuk menyatakan variabel kontinu dan simbol n untuk menyatakan variabel diskrit. Sebagai contoh sinyal waktu kontinu dinyatakan dengan fungsi x(t) dan sinyal waktu diskrit dinyatakan dengan fungsi x(n). Sinyal waktu diskrit hanya menyatakan nilai integral dari variabel independen.

Sinyal didefinisikan sebagai suatu fungsi yang merepresentasikan kuantitas fisik (variabel) yang mengandung informasi tentang suatu fenomena, sinyal umumnya dinyatakan sebagai tegangan (dengan satuan Volt) yang merupakan fungsi dari waktu (t). contohnya sinyal tegangan masukan sinusoidal $v(t) = 5 \sin(2\pi t)$ akan mempunyai kualitas (besar) 5 volt saat t = 0,25 detik atau f (0,25 s) = 5 Volt. Kualitas maksimal ini disebut *Amplitudo* puncak sinyal (*Peak amplitude)*, yaitu sebesar 5 volt (atau sering disebut dengan amplitudo saja). Sistem mentransformasikan sinyal masukan menjadi sinyal lain, $y = Tx$, fungsi transformasi T merepsentasikan perilaku sistem



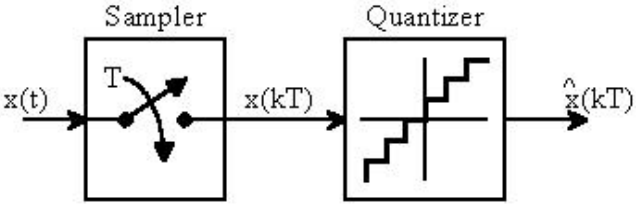
Gambar 175 Mekanisme sistem

Dengan ada atau tidak nya memori (penyimpan), sistem dapat dibedakan menjadi sistem bermemori dan sistem tidak bermemori, yang termasuk dalam sistem tidak bermemori disebut dengan **Rangkaian kombinasional** sementara untuk sistem bermemori disebut dengan **Rangkaian Sekuensial**

Sinyal Digital

Proses pengolahan sinyal digital, diawali dengan proses pencuplikan sinyal masukan yang berupa sinyal kontinu. Proses ini mengubah representasi sinyal yang tadinya berupa sinyal kontinu menjadi sinyal diskrit. Proses ini dilakukan oleh suatu unit ADC (*Analog to Digital Converter*). Unit ADC ini terdiri dari sebuah bagian *Sampel/Hold* dan sebuah bagian *quantize*. Unit sampel/*hold* merupakan bagian yang melakukan pencuplikan orde ke-0, yang berarti nilai masukan selama kurun waktu T dianggap memiliki nilai yang sama. Pencuplikan dilakukan setiap satu satuan waktu yang lazim disebut sebagai waktu cuplik (sampling *time*). Bagian *quantiser* akan merubah menjadi beberapa level nilai, pembagian level nilai ini bisa secara uniform ataupun secara non-uniform misal pada *Gaussian quantiser*. Unjuk kerja dari suatu ADC bergantung pada beberapa parameter, parameter utama yang menjadi pertimbangan adalah sebagai berikut :

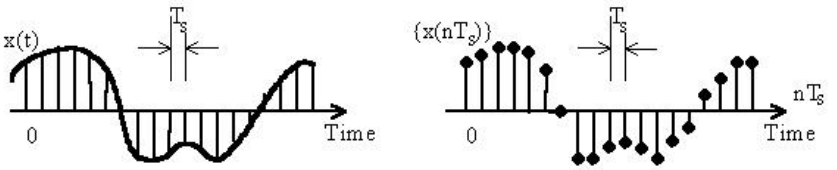
- Kecepatan maksimum dari waktu cuplik.
- Kecepatan ADC melakukan konversi.
- Resolusi dari *quantiser*, misal 8 bit akan mengubah menjadi 256 tingkatan nilai.
- Metode kuantisasi akan mempengaruhi terhadap kekebalan *noise*.



Gambar 176 Proses Sampling

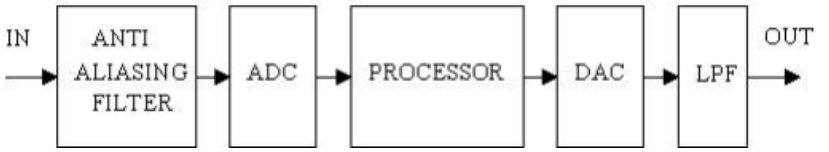
Sinyal *input* asli yang tadinya berupa sinyal kontinu, x(T) akan dicuplik dan diquantise sehingga berubah menjadi sinyal diskrit x(kT). Dalam representasi yang baru inilah sinyal diolah. Keuntungan dari metode ini adalah pengolahan menjadi mudah dan dapat memanfaatkan program sebagai pengolahnya. Dalam

proses sampling ini diasumsikan kita menggunakan waktu cuplik yang sama dan konstan, yaitu Ts. Parameter cuplik ini menentukan dari frekuensi harmonis tertinggi dari sinyal yang masih dapat ditangkap oleh proses cuplik ini. Frekuensi sampling minimal adalah 2 kali dari frekuensi harmonis dari sinyal. Untuk mengurangi kesalahan cuplik maka lazimnya digunakan filter anti sebelum dilakukan proses pencuplikan. Filter ini digunakan untuk meyakinkan bahwa komponen sinyal yang dicuplik adalah benar-benar yang kurang dari batas tersebut. Sebagai ilustrasi, proses pencuplikan suatu sinyal digambarkan pada gambar berikut ini.



Gambar 177 Perubahan dari sinyal kontinu ke sinyal diskrit

Setelah sinyal diubah representasinya menjadi deretan data diskrit, selanjutnya data ini dapat diolah oleh prosesor menggunakan suatu algoritme pemrosesan yang diimplementasikan dalam program. Hasil dari pemrosesan akan dilewatkan ke suatu DAC (*Digital to Analog Converter*) dan LPF (Low Pass Filter) untuk dapat diubah menjadi sinyal kontinu kembali. Secara garis besar, blok diagram dari suatu pengolahan sinyal digital adalah sebagai berikut :



Gambar 178 Blok diagram

Proses pengolahan sinyal digital dapat dilakukan oleh *prosesor general* seperti halnya yang lazim digunakan di personal komputer, misal *processor* 80386, 68030, ataupun oleh prosesor RISC seperti 80860. Untuk kebutuhan pemrosesan *real time*, dibutuhkan prosesor yang khusus dirancang untuk tujuan tersebut, misal ADSP2100, DSP56001, TMS320C25, atau untuk kebutuhan proses yang cepat

dapat digunakan paralel *chip* TMS320C40. *Chip chip* DSP ini memiliki arsitektur khusus yang lazim dikenal dengan arsitektur *Harvard*, yang memisahkan antara jalur data dan jalur kode. Arsitektur ini memberikan keuntungan yaitu adanya kemampuan untuk mengolah perhitungan matematis dengan cepat, misal dalam satu siklus dapat melakukan suatu perkalian *matrix*. Untuk *chip chip* DSP, instruksi yang digunakan berbeda pula. Lazimnya mereka memiliki suatu instruksi yang sangat membantu dalam perhitungan *matrix*, yaitu perkalian dan penjumlahan dilakukan dalam siklus (bandingkan dengan 80386, proses penjumlahan saja dilakukan lebih dari 1 siklus mesin).Sinyal digital merupakan hasil teknologi yang dapat mengubah sinyal menjadi kombinasi urutan bilangan 0 dan 1 (juga dengan biner), sehingga tidak mudah terpengaruh oleh derau, proses informasinya pun mudah, cepat dan akurat, tetapi transmisi dengan sinyal digital hanya mencapai jarak jangkau pengiriman data yang relatif dekat. Biasanya sinyal ini juga dikenal dengan sinyal diskrit. Sinyal yang mempunyai dua keadaan ini biasa disebut dengan bit. Bit merupakan istilah khas

pada sinyal digital. Sebuah bit dapat berupa nol (0) atau satu (1). Kemungkinan nilai untuk sebuah bit adalah 2 buah (2^1). Kemungkinan nilai untuk 2 bit adalah sebanyak 4 (2^2), berupa 00, 01, 10, dan 11. Secara umum, jumlah kemungkinan nilai yang terbentuk oleh kombinasi n bit adalah sebesar 2^n buah Sistem digital merupakan bentuk sampling dari sistem analog. digital pada dasarnya di *code* kan dalam bentuk biner (atau *Hexa*). besarnya nilai suatu sistem digital dibatasi oleh lebarnya / jumlah bit (*bandwidth*). jumlah bit juga sangat mempengaruhi nilai akurasi sistem digital. *Signal* digital ini memiliki berbagai keistimewaan yang unik yang tidak dapat ditemukan pada teknologi analog yaitu:

- Mampu mengirimkan informasi dengan kecepatan cahaya yang dapat membuat informasi dapat dikirim dengan kecepatan tinggi.
- Penggunaan yang berulang – ulang terhadap informasi tidak mempengaruhi kualitas dan kuantitas informasi itu sendiri.
- Informasi dapat dengan mudah diproses dan dimodifikasi ke dalam berbagai bentuk.

- Dapat memproses informasi dalam jumlah yang sangat besar dan mengirimnya secara interaktif.

Kelebihan pemrosesan sinyal digital

Ada beberapa alasan mengapa digunakan pemrosesan sinyal digital pada suatu sinyal analog. Pertama, suatu sistem digital terprogram memiliki fleksibilitas dalam merancang ulang operasi-operasi pemrosesan sinyal digital hanya dengan melakukan perubahan pada program yang bersangkutan, sedangkan proses merancang ulang pada sistem analog biasanya melibatkan rancang ulang perangkat keras, uji coba dan verifikasi agar dapat bekerja seperti yang diharapkan. Masalah ketelitian atau akurasi juga memainkan peranan yang penting dalam menentukan bentuk dari pengolah sinyal. Pemrosesan sinyal digital menawarkan pengendalian akurasi yang lebih baik. Faktor toleransi yang terdapat pada komponen-komponen rangkaian analog menimbulkan kesulitan bagi perancang dalam melakukan pengendalian akurasi pada sistem pemrosesan sinyal analog. Di lain pihak, sistem digital menawarkan pengendalian akurasi yang lebih baik. Beberapa persyaratan yang dibutuhkan, antara lain penentuan akurasi pada *konverter* A/D (analog ke digital) serta pengolah sinyal digital, dalam bentuk panjang *word* (*word length*), *floating point* versus *fixed point arithmetic* dan faktor-faktor lain. Sinyal sinyal digital dapat disimpan pada media magnetik (berupa *tape* atau *disk*) tanpa mengalami pelemahan atau distorsi data sinyal yang bersangkutan. Dengan demikian sinyal tersebut dapat dipindah pindahkan serta diproses secara *offline* di laboratorium. Metode-metode pemrosesan sinyal digital juga membolehkan implementasi algoritma algoritma pemrosesan sinyal yang lebih canggih. Umumnya sinyal dalam bentuk analog sulit untuk diproses secara matematik dengan akurasi yang tinggi. Implementasi digital sistem pemrosesan sinyal lebih murah dibandingkan secara analog. Hal ini disebabkan karena perangkat keras digital lebih murah, atau mungkin karena implementasi digital memiliki fleksibilitas untuk dimodifikasi. Kelebihan kelebihan pemrosesan sinyal digital yang telah disebutkan sebelumnya menyebabkan pemrosesan sinyal digital lebih banyak digunakan dalam berbagai aplikasi. Misalnya, aplikasi pengolahan suara pada kanal telepon, pemrosesan citra serta transmisinya, dalam bidang seismologi dan geofisika, eksplorasi minyak, deteksi ledakan nuklir, pemrosesan sinyal yang diterima

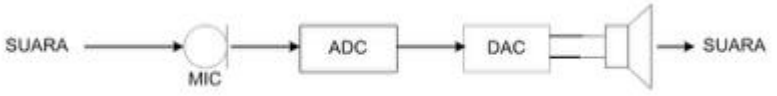
dari luar angkasa, dan lain sebagainya. Namun implementasi digital tersebut memiliki keterbatasan, dalam hal kecepatan konversi A/D dan pengolah sinyal digital yang bersangkutan.

Sinyal Analog

Sinyal analog adalah sinyal data dalam bentuk gelombang yang yang kontinu, yang membawa informasi dengan mengubah karakteristik gelombang. Sinyal analog bekerja dengan mentransmisikan suara dan gambar dalam bentuk gelombang kontinu (*continuous varying*). Dua parameter/karakteristik terpenting yang dimiliki oleh isyarat analog adalah *amplitude* dan frekuensi. Isyarat analog biasanya dinyatakan dengan gelombang sinus, mengingat gelombang sinus merupakan dasar untuk semua bentuk isyarat analog. Hal ini didasarkan kenyataan bahwa berdasarkan analisis *Fourier*, suatu sinyal analog dapat diperoleh dari perpaduan sejumlah gelombang sinus. Dengan menggunakan sinyal analog, maka jangkauan transmisi data dapat mencapai jarak yang jauh, tetapi sinyal ini mudah terpengaruh oleh *noise*. Gelombang pada sinyal analog yang umumnya berbentuk gelombang sinus memiliki tiga variabel dasar, yaitu:

- Amplitudo merupakan ukuran tinggi rendahnya tegangan dari sinyal analog.
- Frekuensi adalah jumlah gelombang sinyal analog dalam satuan detik.
- *Phase* adalah besar sudut dari sinyal analog pada saat tertentu.

Salah satu contoh sinyal analog yang paling mudah adalah suara. Contoh Sinyal Analog yang lainnya seperti : Sinyal Elektrik yang dihasilkan oleh peralatan elektrik non-digital sinyal suara pada radio konvensional, sinyal gambar (foto) pada kamera konvensional, sinyal video pada televisi konvensional:



Gambar 179 Proses Sinyal Suara yang diubah menjadi Sinyal Digital

Penjelasan:

a. Suara manusia berupa sinyal analog dengan amplitudo yang berubah secara kontinu terhadap waktu (sinyal akustik) yang ditangkap oleh mikrofon (*Mic*) diubah ke dalam bentuk sinyal listrik, karena fungsi dari mikrofon sendiri merupakan transduser dari sinyal akustik menjadi sinyal listrik.
b. Suara yang telah diubah menjadi sinyal listrik dari mikrofon selanjutnya diproses dengan mengubah amplitudo gelombang suara/bunyi ke dalam waktu interval tertentu (sampling) sehingga menghasilkan representasi digital dari suara, yang dikenal dengan proses *Analog To Digital Conversion* (ADC).Pengolahan sinyal analog memanfaatkan komponen-komponen analog seperti dioda, transistor, Op Amp, dan lainnya.

Kekurangan pada sinyal sistem analog yaitu Pengiriman sinyal analog dapat dianalogikan mengirim air lewat pipa. Aliran pipa kehilangan tenaganya saat disalurkan melalui sebuah pipa. Semakin jauh pipa semakin banyak tenaga yang berkurang dan aliran semakin menjadi lemah. Demikian pula sinyal analog akan menjadi lemah setelah melewati jarak yang jauh. Lebih bertambah jauh sinyal analog juga memungut interferensi elektrik atau "*noise*" dari dalam alur. Kabel listrik, petir dan mesin-mesin listrik semua menginjeksikan *noise* dalam bentuk elektrik pada sinyal analog. Untuk mengatasi kelemahan tersebut maka diperlukan alat penguat sinyal yang disebut *amplifier*.

Kelebihan Sinyal Analog

Sinyal analog memiliki potensi jumlah tak terbatas resolusi sinyal. Dibandingkan dengan sinyal-sinyal digital, sinyal analog kepadatan tinggi, dapat dilakukan pengolahan lebih sederhana dibandingkan dengan setara digital. Sinyal analog dapat diproses secara langsung oleh komponen analog, meskipun beberapa proses tidak tersedia kecuali dalam bentuk digital.

Tabel 20 perbandingan sinyal analog dan digital

Sinyal Analog	Sinyal Digital
Bersifat Kontinu	Bersifat Diskrit (0 dan 1)
Bagus digunakan untuk komunikasi yang lalu lintasnya rendah	Bagus digunakan untuk komunikasi yang lalu lintasnya tinggi
Kemungkinan *error* besar	Kemungkinan *error* sedkit
Perbaikan *error* sulit	Perbaikan *error* lebih mudah
Mudah terkena *noise*	Lebih tahan terhadap *noise*
Kapasitas informasi sedikit	Kapasitas informasi lebih besar
Sulit dilakukan modifikasi informasi	Lebih mudah dilakukan modifikasi informasi
Menggunakan konsep frekuensi	Menggunakan konsep biner/bit
Boros *bandwidth*	Lebih hemat *bandwidth*

Konversi Analog ke Digital (ADC)

Dalam sebuah industri, besaran fisis yang berupa temperatur, tekanan (*pressure*), laju aliran fluida (*flow*) harus dikendalikan. Pada umumnya, pengendalian tersebut menggunakan PC, PLC ada juga yang disebut dengan SCADA. Pada intinya, besaran fisis tersebut harus dapat diketahui oleh sistem digital. Bagaimana caranya Besaran fisis tersebut diubah menjadi besaran elektris menggunakan sensor. Keluaran sensor biasanya berupa tegangan atau arus (standarnya 4-20mA). Kemudian tegangan/arus tersebut diubah menjadi besaran digital memakai komponen ADC (*Analog to Digital Converter*).

ADC adalah suatu perangkat yang mengubah suatu data kontinu terhadap waktu (analog) menjadi suatu data diskrit terhadap waktu (digital). ADC banyak digunakan sebagai pengatur proses industri, komunikasi digital dan rangkaian pengukuran/pengujian. Umumnya ADC digunakan sebagai perantara antara sensor yang kebanyakan analog dengan sistem komputer seperti sensor suhu, cahaya, tekanan/berat, aliran dan sebagainya kemudian diukur dengan menggunakan sistim digital (komputer). ADC (*Analog to Digital Converter*) memiliki 2 karakter prinsip, yaitu kecepatan sampling dan resolusi.

[1]. Kecepatan sampling suatu ADC menyatakan seberapa sering sinyal analog dikonversikan ke bentuk sinyal digital pada selang waktu tertentu. Kecepatan sampling biasanya dinyatakan dalam sampel per *second* (SPS).

[2]. Resolusi ADC menentukan ketelitian nilai hasil konversi ADC. Sebagai contoh: ADC 8 bit akan memiliki *output* 8 bit data digital, ini berarti sinyal *input* dapat dinyatakan dalam 255 (2^{n-1}) nilai diskrit. ADC 12 bit memiliki 12 bit *output* data digital, ini berarti sinyal *input* dapat dinyatakan dalam 4096 nilai diskrit. Dari contoh diatas ADC 12 bit akan memberikan ketelitian nilai hasil konversi yang jauh lebih baik daripada ADC 8 bit. Prinsip kerja ADC adalah mengonversi sinyal analog ke dalam bentuk besaran yang merupakan rasio perbandingan sinyal *input* dan tegangan referensi. Sebagai contoh, bila tegangan referensi (Vref) 5 volt, tegangan *input* 3 volt, rasio *input* terhadap referensi adalah 60%. Jadi, jika menggunakan ADC 8 bit dengan skala maksimum 255, akan didapatkan sinyal digital sebesar 60% x 255 = 153 (bentuk *decimal*) atau 10011001 (bentuk biner).

ADC merupakan komponen yang mengubah besaran analog (dalam hal ini tegangan yang berpadanan dengan temperatur) dan dikonversi menjadi besaran digital. ADC memiliki beberapa karakteristik penting:

a. *Input voltage range*
b. Bit *resolution*
c. Sampling *rate*

ADC memiliki beberapa jenis bit *resolution*, antara lain 8 bit, 10 bit, 12 bit, 16 bit dan bahkan 20 bit. Apa yang dimaksud dengan bit *resolution,* Setiap tegangan *input* yang dikonversi menjadi digital hasilnya harus berupa deretan 1 dan 0 yang merepresentasikan besar tegangan tersebut. Katakanlah dengan ADC 8 bit, maka tegangan *input* harus dikonversi menjadi 00000000 (0 desimal) sampai 11111111 (255 desimal).

Contoh:

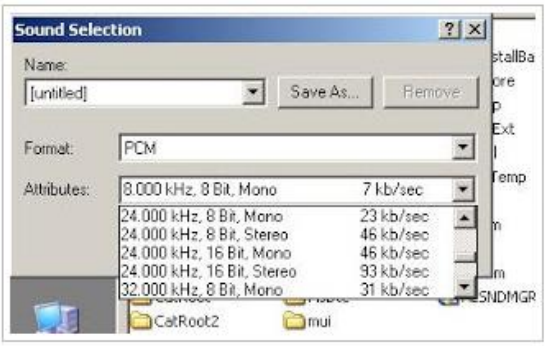
Tabel 21 contoh ADC

Temperatur	Tegangan	Keluaran ADC
0	0 VOLT	00000000 = 0 Desimal
50	2.5 Volt	10000000 =128 Desimal
100	5 Volt	11111111 = 255 Desimal

Sekarang kita bisa mencari hubungan antara temperatur dengan keluaran ADC dengan memperhatikan:

a. *Range* temperatur 0 – 100 derajat *Celsius*.
b. *Range output* sensor 0 – 5 Volt
c. *Range input* ADC 0 – 5 Volt
d. Resolusi ADC 8 bit = 0 – 255

Range output sensor (b) dan *range input* ADC (c) harus sama, apabila tidak, perlu memakai '*signal conditioner*' untuk menyamakan *range* tegangan. *Signal conditioner* biasanya berupa rangkaian Operasional *Amplifier*, Kita lupakan dulu masalah rangkaian *signal conditioner*. 0 derajat Celsius ekuivalen dengan 0100 derajat Celsius ekuivalen dengan 255, Jadi persamaannya keluaran ADC = $\frac{255}{100}\ x\ temperatur$ atau Temperatur = $\frac{100}{255}\ x\ keluaran\ ADC$. Misalnya keluaran ADC adalah 154, maka temperaturnya adalah 60.39 derajat Celsius Pertanyaannya, kalau temperaturnya 43 derajat Celsius, berapa keluaran ADC nya, Keluaran ADC = $\frac{255}{100}\ x\ 43 = 109.65$. Mengapa terjadi koma, Padahal bilangan biner 8 bit tidak ada angka koma. Keluaran dari ADC adalah tanpa koma karena hanya 8 bit. Jadi keluaran ADC adalah integer dari 109.65 = 109 Jadi persamaannya perlu disempurnakan Keluaran ADC = $\frac{255}{100}\ x\ temperatur$ atau INT($\frac{255}{100}\ x\ temperatur$) Dalam konversi ADC, akan timbul error karena ada proses kuantisasi yaitu error ini akan semakin kecil apabila resolusi ADC semakin besar. Sebagai gambaran, ADC yang dipergunakan untuk konversi sinyal suara/musik adalah 16 bit. (Coba lihat *Sound Recorder*, apabila kita akan men *save* suara, disitu ada pertanyaan jenis hasil yang diinginkan)



Gambar 180 contoh penggunaan dalam *sound selection*

Sedangkan 24.000 kHz adalah sampling *rate*, , apabila tegangan ini dikonversi menjadi digital 8 bit, dari komponen ADC itu akan keluar 8 buah kabel/jalur yang isinya mulai dari 00000000 sampai 11111111 meskipun ada juga ADC yang jenisnya Serial ADC, dimana keluaran dikirimkan dalam bentuk serial sehingga mengurangi jumlah kabel/jalur. Sekarang apa yang dimaksud dengan sampling *rate*. Sampling *rate* adalah interval pencuplikan data, sampling *rate* 1 Hz artinya besaran analog (tegangan) dikonversi setiap 1 detik sekali, jadi 24000 Hz artinya data tegangan dikonversi 24000 kali dalam satu detik. Untuk mendapatkan audio yang sekelas HIFI, dibutuhkan sampling *rate* 44000 Hz dan resolusi ADC 16 bit, sedangkan untuk kualitas percakapan/*speech*, sampling *ratenya* adalah 8000 Hz, resolusi 8 bit sudah cukup. Proses perekaman suara oleh komputer/mp3 *player*/berbicara di HP GSM/CDMA salah satunya terdapat proses *Analog to Digital conversion*.

Fungsi ADC

Sedangkan fungsi dari ADC atau Analog To Digital *Converter* adalah untuk menjembatani pemrosesan data berupa sinyal analog oleh sistem digital. ADC juga berperan sebagai pengatur proses industri, rangkaian pengukuran atau pengujian, sampai dengan komunikasi digital.

Prinsip Kerja

mengonversi sinyal analog ke dalam bentuk besaran yang merupakan rasio perbandingan sinyal *input* dan tegangan referensi. Contoh, bila tegangan referensi (Vref) 5 volt, tegangan *input* 3 volt, rasio *input* terhadap referensi adalah 60%. Jadi, jika menggunakan ADC 8 bit dengan skala maksimum 255, akan didapatkan sinyal digital sebesar 60% x 255 = 153 (bentuk *decimal*) atau 10011001 (bentuk biner).

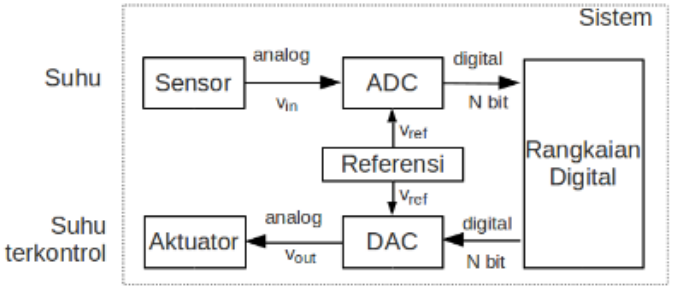
Jenis-jenis ADC

ADC memiliki Jenis-jenis serta fungsi dari masing-masing, meliputi:

a. ***Tipe Integrating***, menawarkan resolusi tertinggi dengan biaya terendah. ADC tipe ini tidak dibutuhkan rangkaian sampel *hold*. Tipe ini memiliki kelemahan yaitu waktu konversi yang agak lama, biasanya beberapa mili detik.
b. **Tipe *tracking*** menggunakan prinsip *up down counter* (pencacah naik dan turun). *Binary counter* (pencacah biner) akan mendapat masukan *clock* secara kontinu dan hitungan akan bertambah atau berkurang tergantung pada kontrol dari pencacah apakah sedang naik (*up counter*) atau sedang turun (*down counter*). ADC tipe ini tidak menguntungkan jika dipakai pada sistem yang memerlukan waktu konversi masukan keluaran singkat, sekalipun pada bagian masukan pada tipe ini tidak memerlukan rangkaian sampel *hold*. ADC tipe ini sangat tergantung pada kecepatan *clock* pencacah, semakin tinggi nilai *clock* yang digunakan, maka proses konversi akan semakin singkat.
c. **Tipe *flash* / parallel**, tipe ini dapat menunjukkan konversi secara lengkap pada kecepatan 100 MHz dengan rangkaian kerja yang sederhana. Sederetan tahanan mengatur masukan *inverting* dari tiap-tiap *konverter* menuju tegangan yang lebih tinggi dari konverter sebelumnya, jadi untuk tegangan masukan Vin, dengan *full scale range*, komparator dengan bias di bawah *Vin* akan mempunyai keluaran rendah. Keluaran komparator ini tidak dalam bentuk biner murni. Suatu dekoder dibutuhkan untuk membentuk suatu keluaran yang biner. Beberapa komparator berkecepatan tinggi, dengan waktu tunda (*delai*)

kurang dari 6 ns banyak digunakan, karena itu dihasilkan kecepatan konversi yang sangat tinggi. Jumlah komparator yang dibutuhkan untuk suatu konversi n bit adalah 2^{n-1}.

d. **Tipe *successive approximation*** merupakan suatu konverter yang paling sering ditemui dalam desain perangkat keras yang menggunakan ADC. Tipe ini memiliki kecepatan konversi yang cukup tinggi, meskipun dari segi harga relatif mahal. Prinsip kerja konverter tipe ini adalah, dengan membangkitkan pertanyaan-pertanyaan yang pada intinya berupa tebakan nilai digital terhadap nilai tegangan analog yang dikonversikan. Apabila resolusi ADC tipe ini adalah 2^n maka diperlukan maksimal n kali tebakan. Proses di dalam ADC Ada 3 proses yang terjadi di dalam ADC, yaitu:



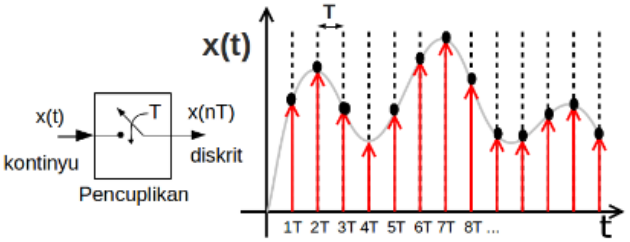
Gambar 181 Konsep digital memonitor dan mengontrol suhu

[1]. mengonversikan masukan analog ke dalam bentuk digital
[2]. memproses informasi secara digital
[3]. mengonversikan keluaran digital ke dalam bentuk analog

Sebuah ADC *(Analog to Digital Converter*) berfungsi untuk mengkodekan tegangan sinyal analog waktu kontinu ke bentuk sederetan bit digital waktu diskrit sehingga sinyal tersebut dapat diolah oleh komputer. Proses konversi tersebut dapat digambarkan sebagai proses 3 langkah.

[1]. Pencuplikan
adalah proses mengambil suatu nilai pasti (diskrit) dalam suatu data kontinu dalam satu titik waktu tertentu dengan periode

yang tetap, atau dengan kata lain mengubah sinyal waktu kontinu menjadi sinyal waktu diskrit

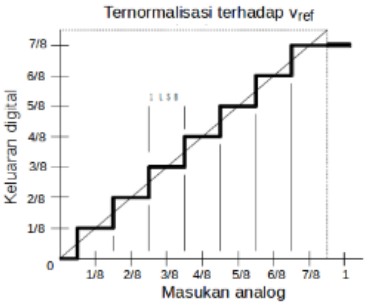


Gambar 182 Proses Pencuplikan

Pencuplikan sinyal waktu kontinu untuk menghasilkan sinyal waktu diskrit, parameter yaitu frekuensi cuplik (f_s) atau periode cuplik $T_s = \frac{1}{f_s}$. Menentukan frekuensi maksimal sinyal masukan yang bias dicuplik dan dapat direkomendasikan kembali sesuai kriteria yaitu $f_{max} \leq \frac{1}{2} x\ f_s$

[2]. Kuantisasi

Kuantisasi mengubah amplitudo sinyal kontinu menjadi amplitudo diskrit. Hasil proses pencuplikan dan kuantisasi adalah sinyal digital (waktu diskrit, amplitudo diskrit) dari sinyal analog (waktu kontinu, amplitudo kontinu)



Gambar 183 Proses Kuantisasi

Kuantisasi menghasilkan amplitudo diskrit yang terbatas dari nilai sinyal kontinu yang tidak terbatas. Contoh diatas adalah kuantisasi linier 8 langkah, untuk Teknik lain secara tidak linier disebut *companding*. Contoh kuantisasi lainnya yaitu ADC 3 bit dimana akan menghasilkan 8 kode digital bit, yaitu $N= 2^3 = 8$

Tabel 22 ADC 3 bit tegangan V_{ref} 5 Volt

Tegangan masukan (Volt)		Tegangan keluaran (Volt)
Minimum	Maksimum	
0	0,3125	0
0,3125	0,9375	0,625
0,9375	1,5625	1,25
1,5625	2,1875	1,875
2,1875	2,8125	2,5
2,8125	3,4375	3,125
3,4375	4,0625	3,75
4,0625	5	4,375

[3]. Pengkodean

Pengkodean mengkodekan sinyal digital dalam representasi binernya (digital). Kode ini yang diproses oleh rangkaian digital, mikroprosesor atau mikrokontroler

Tabel 23 ADC 3 bit

Tegangan digital (Volt)	0	0,625	1,25	1,875	2,5	3,125	3,75	4,375
Kode (Desimal)	0	1	2	3	4	5	6	7
Kode (Biner)	000	001	010	011	100	101	110	111

Pengkodean menerjemahkan amplitudo tegangan diskrit hasil dari keluaran kuantisasi menjadi kode biner, contoh untuk ADC 3 bit dan V_{ref} = 5 V, representasi kodenya dapat dinyatakan dengan kode $\frac{v_{in}}{5}$ x 2^3

Konversi Digital ke Analog (DAC)

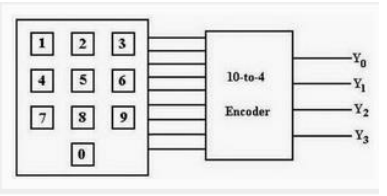
DAC (*Digital to Analog Convertion*) adalah perangkat atau rangkaian elektronika yang berfungsi untuk mengubah suatu isyarat digital

(kode-kode biner) menjadi isyarat analog (tegangan analog) sesuai harga dari isyarat digital tersebut. DAC (*Digital to Analog Convertion*) dapat dibangun menggunakan penguat penjumlah *inverting* dari sebuah operasional *amplifier* (Op Amp) yang diberikan sinyal *input* berupa data logika digital (0 dan 1). Rangkaian dasar DAC (*Digital to Analog Convertion*) terdapat 2 tipe yaitu

[1]. *Binary-weighted* DAC
[2]. R/2R *Ladder* DAC.

Encoder

adalah rangkaian yang memiliki fungsi berkebalikan dengan dekoder. Encoder berfungsi sebagai rangkaian untuk mengkodekan data *input* menjadi data bilangan dengan format tertentu. Encoder dalam rangkaian digital adalah rangkaian kombinasi gerbang digital yang memiliki *input* banyak dalam bentuk *line input* dan memiliki *output* sedikit dalam format bilangan biner. *Encoder* akan mengkodekan setiap jalur *input* yang aktif menjadi kode bilangan biner. Dalam teori digital banyak ditemukan istilah *encoder* seperti "Desimal *to* BCD *Encoder*" yang berarti rangkaian digital yang berfungsi untuk mengkodekan *line input* dengan jumlah *line input* desimal (0-9) menjadi kode bilangan biner 4 bit BCD (*Binary Coded Decimal*). Atau "8 *line to* 3 *line* encoder" yang berarti rangkaian encoder dengan *input* 8 *line* dan *output* 3 *line* (3 bit BCD).



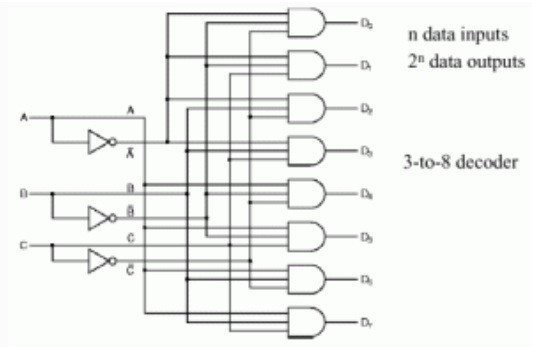
Gambar 184 Ilustrasi Encoder

Encoder dalam contoh ini adalah *encoder* desimal ke BCD (*Binary Coded Decimal*) yaitu rangkaian *encoder* dengan *input* 9 *line* dan *output* 4 bit data BCD. Dalam mendesain suatu encoder kita harus mengetahui tujuan atau spesifikasi *encoder* yang diinginkan yaitu dengan :Membuat tabel kebenaran dari *encoder* yang ingin dibuat Membuat persamaan logika *encoder* yang diinginkan pada tabel

kebenaran menggunakan K-Map Mengimplementasikan persamaan logika *encoder* dalam bentuk rangkaian gerbang logika digital

Decoder

Pengertian *Decoder* adalah alat yang di gunakan untuk dapat mengembalikan proses *encoding* sehingga kita dapat melihat atau menerima informasi aslinya. Pengertian *Decoder* juga dapat di artikan sebagai rangkaian logika yang di tugaskan untuk menerima *input input* biner dan mengaktifkan salah satu *outputnya* sesuai dengan urutan biner tersebut. Kebalikan dari *decoder* adalah *encoder*. Fungsi *Decoder* adalah untuk memudahkan kita dalam menyalakan *seven* segmen. Itu lah sebabnya kita menggunakan *decoder* agar dapat dengan cepat menyalakan *seven* segmen. *Output* dari *decoder* maksimum adalah 2n. Jadi dapat kita bentuk n-to-2n *decoder*. Jika kita ingin merangkaikan *decoder* dapat kita buat dengan 3-to-8 *decoder* menggunakan 2-to-4 *decoder*. Sehingga kita dapat membuat 4-to-16 *decoder* dengan menggunakan dua buah 3-to-8 *decoder*. Beberapa rangkaian *decoder* yang sering kita jumpai saat ini adalah *decoder* jenis 3 x 8 (3 bit *input* dan 8 *output line*), *decoder* jenis 4 x 16, *decoder* jenis BCD to *Decimal* (4 bit *input* dan 10 *output line*) dan *decoder* jenis BCD to 7 segmen (4 bit *input* dan 8 *output line*). Khusus untuk pengertian *decoder* jenis BCD *to* 7 segmen mempunyai prinsip kerja yang berbeda dengan *decoder decoder* lainnya, di mana kombinasi setiap *inputnya* dapat mengaktifkan beberapa *output linenya*. Salah satu jenis IC *decoder* yang umum di pakai adalah 74138, karena IC ini mempunyai 3 *input* biner dan 8 *output line*, di mana nilai *output* adalah 1 untuk salah satu dari ke 8 jenis kombinasi *inputnya*. Jika kita perhatikan, pengertian *decoder* sangat mirip dengan *demultiplexer* dengan pengecualian yaitu *decoder* yang satu ini tidak mempunyai data *input*. Sehingga *input* hanya di gunakan sebagai data *control*. Pengertian *decoder* dapat di bentuk dari susunan gerbang logika dasar atau menggunakan IC yang banyak jual di pasaran, seperti *decoder* 74LS48, 74LS154, 74LS138, 74LS155 dan sebagainya. Dengan menggunakan IC, kita dapat merancang sebuah *decoder* dengan jumlah bit dan keluaran yang di inginkan. Contohnya adalah dengan merancang sebuah *decoder* 32 saluran keluar dengan IC *decoder* 8 saluran keluaran.

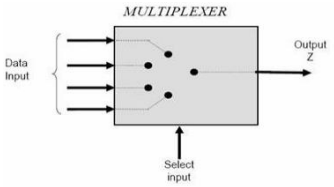


Gambar 185 Ilustrasi *Decoder*

Multiplekser

Multiplekser atau sering dikenal dengan singkatan MUX merupakan alat atau komponen elektronika yang bisa memilih *input* (masukan) yang akan diteruskan ke bagian *output* (keluaran). Pemilihan *input* mana yang dipilih akan ditentukan oleh *signal* yang ada di bagian kontrol (kendali) *Select*. Komponen yang berfungsi kebalikan dari MUX ini disebut *Demultiplekser* (DEMUX). Pada *Demux*, jumlah masukannya hanya satu, tetapi bagian keluarannya banyak. *Signal* pada bagian *input* ini akan disalurkan ke bagian *output* (*channel*) yang mana tergantung dari kendali pada bagian *selectnya*.

Multiplekser merupakan rangkaian logika yang menerima beberapa *input* data digital dan menyeleksi salah satu dari *input* tersebut pada saat tertentu, untuk dikeluarkan pada sisi *output*. Seleksi data *data input* dilakukan oleh selektor *line*, yang juga merupakan *input* dari *multiplexer* tersebut. Blok diagram sebuah *multiplexer* ditunjukkan pada gambar berikut.



Gambar 186 *Multipekser*

Secara sederhana MULTIPLEXER (MUX) dikatakan sebagai DATA SELECTOR / pemilih data, mana yang akan dilewatkan dan mana yang akan ditahan. MUX juga dapat dikatakan sebagai sebuah alat digital yang memiliki fungsi memilih salah satu dari sejumlah saluran *input* untuk ditransmisikan ke satu *output*. Prinsipnya sama seperti sakelar pemilih, dari 2^n buah *input* dipilih melalui n buah jalur pemilih (DATA SELECT), jalur mana yang akan disalurkan ke *output*. Hal ini dapat digambarkan seperti pada gambar dibawah.

Dalam elektronik, telekomunikasi, dan jaringan komputer, multipleksing adalah istilah yang digunakan untuk menunjuk ke sebuah proses di mana beberapa sinyal pesan analog atau aliran data digital digabungkan menjadi satu sinyal. Tujuannya adalah untuk berbagi sumber daya yang mahal. Contohnya, dalam elektronik, multipleksing mengizinkan beberapa sinyal analog untuk diproses oleh satu *analog-to-digital converter* (ADC), dan dalam telekomunikasi, beberapa panggilan telepon dapat disalurkan menggunakan satu kabel. Dalam komunikasi, sinyal yang telah dimultipleks disalurkan ke sebuah seluruh komunikasi, yang mungkin juga merupakan medium transmisi fisik. Multipleksing membagi kapasitas saluran komunikasi tingkat-rendah menjadi beberapa saluran logika tingkat tinggi, masing masing satu untuk setiap sinyal pesan atau aliran data yang ingin disalurkan. Sebuah proses kebalikannya, dikenal dengan *demultipleksing*, dapat mengubah data asli di sisi penerima.

Seperti yang telah dijelaskan tadi, *multiplekser* (MUX) merupakan sebuah alat yang digunakan untuk melakukan *multipleksing* sedangkan alat yang digunakan untuk melakukan proses yang berlawanan disebut *demultiplekser* (DEMUX). Bentuk paling dasar dari *multipleksing* adalah *multipleksing* (TDM) dan *frequency division multiplexing* (FDM). Dalam komunikasi optik, FDM sering disebut sebagai *wavelength division multiplexing* (WDM). *Multiplexing* adalah suatu teknik mengirimkan lebih dari satu ke banyak informasi melalui satu saluran. Istilah ini adalah istilah dalam dunia telekomunikasi. Tujuan utamanya adalah untuk menghemat jumlah saluran fisik misalnya kabel, pemancar & penerima (*transceiver*), atau kabel optik. Contoh aplikasi dari teknik *multiplexing* ini adalah pada jaringan transmisi jarak jauh, baik yang menggunakan kabel maupun yang menggunakan media udara (*wireless* atau radio). Sebagai contoh, satu helai kabel optik Surabaya-Jakarta bisa dipakai

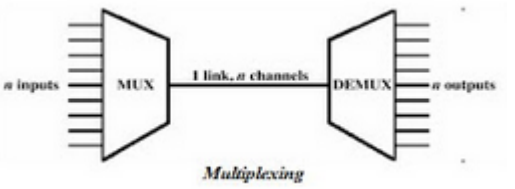
untuk menyalurkan ribuan percakapan telepon. Idenya adalah bagaimana menggabungkan ribuan informasi percakapan (*voice*) yang berasal dari ribuan pelanggan telepon tanpa saling bercampur satu sama lain. Teknik *multiplexing* ada beberapa cara. Yang pertama, *multiplexing* dengan cara menata tiap informasi (suara percakapan 1 pelanggan) sedemikian rupa sehingga menempati satu alokasi frekuensi selebar sekitar 4 kHz. Teknik ini dinamakan ***Frequency Division Multiplexing*** **(FDM).** Teknologi ini digunakan di Indonesia hingga tahun 90-an pada jaringan telepon analog dan sistem satelit analog sebelum digantikan dengan teknologi digital. Pada tahun 2000-an ini, ide dasar FDM digunakan dalam teknologi saluran pelanggan digital yang dikenal dengan modem ADSL (*asymetric* digital *subscriber loop*). Yang kedua adalah *multiplexing* dengan cara tiap pelanggan menggunakan saluran secara bergantian. Teknik ini dinamakan ***Time Division Multiplexing*** **(TDM).** Tiap pelanggan diberi jatah waktu (*time slot*) tertentu sedemikian rupa sehingga semua informasi percakapan bisa dikirim melalui satu saluran secara bersama-sama tanpa disadari oleh pelanggan bahwa mereka sebenarnya bergantian menggunakan saluran. Kenapa si pelanggan tidak merasakan pergantian itu? Karena pergantiannya terjadi setiap 125 *microsecond*; berapa pun jumlah pelanggan atau informasi yang ingin di *multiplex*, setiap pelanggan akan mendapatkan giliran setiap 125 *microsecond*, hanya jatah waktunya semakin cepat. Teknik *multiplexing* yang ketiga adalah yang digunakan dalam saluran kabel optik yang disebut ***Wavelength Division Multiplexing*** **(WDM),** yaitu satu kabel optik dipakai untuk menyalurkan lebih dari satu sumber sinar dimana satu sinar dengan *lamda* tertentu mewakili satu sumber informasi.

Secara sederhana *Multiplexing* berarti rangkaian yang memiliki banyak *input* tetapi hanya 1 *output* dan dengan menggunakan sinyal-sinyal kendali, kita dapat mengatur penyaluran *input* tertentu kepada *outputnya*, sehingga memungkinkan terjadinya transmisi sinyal yang banyak melalui media tunggal. (penggabungan 2 sinyal atau lebih untuk disalurkan ke dalam 1 saluran komunikasi).

Kelebihannya :

- *host* hanya butuh satu *port* I/O untuk n terminal
- hanya satu *line* transmisi yang dibutuhkan
- menghemat biaya penggunaan saluran komunikasi

- memanfaatkan sumber daya seefisien mungkin
- Menggunakan kapasitas saluran semaksimum mungkin
- Karakteristik permintaan komunikasi pada umumnya memerlukan penyaluran data dari beberapa terminal ke titik yang sama



Gambar 187 Konsep *Multiflekser*

Frequency Division Multiplexing (FDM)

FDM (*Frequency Division Multiplexing*) adalah teknik *multiplexing* dimana setiap piranti diberi frekuensi modulasi yang berbeda sehingga bisa bersamaan melakukan transmisi melalui satu media. Teknik FDM banyak digunakan pada komunikasi data dengan medium berkapasitas besar, biasa disebut sebagai *broadband* (jalur lebar) medium. Melalui teknik ini berbagai siaran TV dapat disalurkan dalam satu kabel (*cable* TV), atau Video, Suara, dan Data bisa disalurkan bersama dalam satu kabel.

Teknik ini bekerja dengan cara mencampur data berdasarkan frekuensi. Sandi yang diberikan pada data tidak berpengaruh sehingga FDM disebut *code transparent*. FDM merupakan mux yang paling umum dan banyak dipakai, dengan menumpuk sinyal pada bidang frekuensi. Data yang dikirimkan akan dicampur berdasarkan frekuensi. Banyak digunakan pada pengiriman sinyal analog. Data tiap kanal dimodulasikan dengan FSK untuk *voice grade channel.* Enam sumber sinyal dimasukkan ke dalam suatu multiplexer, yang memodulasi tiap sinyal ke dalam frekuensi yang berbeda (f1,...,f6). Tiap sinyal modulasi memerlukan *bandwidth center* tertentu di sekitar frekuensi *carriernya*, dinyatakan sebagai suatu *channel*. Sinyal *input* (analog / digital) akan ditransmisikan melalui medium dengan sinyal analog. Contohnya yaitu transmisi *full* duplex FSK (*Frequency Shift Keying*), *broadcast* dan TV kabel.

Gambar 188 FDM

Time Division Multiplexing (TDM)

Time Division Multiplexing (TDM) adalah suatu jenis digital yang terdiri dari banyak bagian di mana terdapat dua atau lebih saluran yang sama diperoleh dari spektrum frekuensi yang diberikan yaitu, bit arus, atau dengan menyisipkan detakan-detakan yang mewakili bit dari saluran berbeda. Dalam beberapa TDM sistem, detakan yang berurutan menghadirkan bit dari saluran yang berurutan seperti saluran suara pada sistem T1. Pada sistem yang lainnya saluran-saluran yang berbeda secara bergiliran menggunakan saluran itu dengan membuat sebuah kelompok yang berdasarkan pada *pulse times* (hal seperti ini disebut dengan *time slot*). Apakah yang menjadi ciri dari TDM yang tidak beraturan (kasar), adalah belum ditempatkannya *time slot* pada saluran-saluran (*channels*) yang telah ditentukan.

contoh penggunaan TDM adalah:

- PDH dan SDH transmisi jaringan baku
- GSM pada sistem telepon
- Saluran kiri kanan pada sebuah kacamata yang menggunakan cairan *Stereoskopis Crystle*

TDM adalah rata-rata dari sinyal digital (sinyal analog yang membawa data digital) yang dapat dilaksanakan dengan alur transmisi tunggal dengan menyisipkan antar halaman bagian dari tiap sinyal pada waktunya. Penyisipan dapat dilakukan pada bit atau blok *bytes*. Ini memungkinkan secara digital menyandi sinyal suara untuk dipancarkan dan diganti secara optimal dengan sakelar sirkuit yang ada dalam sebuah jaringan. Artikel ini terdiri dari dua bagian yaitu Transmisi yang menggunakan TDM dan *Synchronous Hirarki* Digital (SDH). Bagian yang pertama menguji prinsip dasar yang mendasari TDM, sedangkan bagian yang kedua mendiskusikan bagaimana SDH digunakan untuk mengganti tampilan TDM. *Synchronous Time Division Multiplexing* Pengiriman data dengan mencampur data berdasarkan waktu sinyal data tersebut dikirimkan. Digunakan untuk transmisi sinyal digital, bit

data dari terminal secara bergantian diselipkan di antara bit data dari terminal lain. Pemancar dan penerima harus sinkron agar masing masing penerima menerima data yang ditujukan kepadanya. TDM hanya digunakan untuk komunikasi titik ke titik. TDM lebih efisien daripada FDM karena 1 saluran komunikasi telepon dapat dipakai sampai dengan 30 terminal sekaligus. Sinyal digital yang banyak (sinyal analog yang membawa data digital) melewati transmisi tunggal dengan cara pembagian (*interlaving*) porsi yang dapat berupa level bit atau dalam blok *blok byte* atau yang lebih besar dari tiap sinyal pada suatu waktu. TDM biasanya digunakan untuk komunikasi *point to point*. Pada TDM, penambahan peralatan pengiriman data lebih mudah dilakukan karena tidak akan mempengaruhi peralat an yang sudah ada sampai pada batas batas tertentu. TDM lebih efisien daripada FDM karena 1 saluran komunikasi telepon misalnya, dapat dipakai sampai dengan 30 terminal sekaligus. TDM yang umum dikenal adalah PCM. Terdapat 4 metode untuk *coding* amplitudo yaitu :
[1]. PAM (Pulse Amplitudo Modulation)
[2]. PPM (Pulse Position *Modulation*)
[3]. PCM (*Pulse* Code *Modulation*)
[4]. PDM (*Pulse Duration Modulation*)

Yang paling umum digunakan adalah PCM. Perkembangan terakhir dari teknik *multiplexing* ialah *Statistical Time Division* Multiplexing (STDM) yang mempunyai keuntungan dalam efisiensi penggunaan saluran secara lebih baik.

Statistical Time Division Multiplexing (STDM)

STDM adalah lanjutan versi dari TDM di mana alamat terminal kedua-duanya dan data dirinya dipancarkan bersama-sama untuk menghasilkan sebuah jalur yang lebih baik. Penggunaan STDM membolehkan luas bidang *(bandwidth*) untuk dipisah menjadi 1 baris. Banyak perguruan tinggi dan kampus menggunakan TDM jenis ini untuk secara mendistribusikan luas bidang (*bandwidth* nya). Jika ada satu 10 MBit yang masuk ke dalam sebuah bangunan, STDM dapat digunakan untuk menyediakan 178 terminal dengan 56k koneksi (178* 56k= 9.96 Mb). Suatu penggunaan yang lebih umum bagaimanapun adalah hanya mewariskan luas bidang (*bandwidth*) ketika itu banyak diperlukan. *Statistical* TDM dikenal juga sebagai *asynchronous* TDM dan *intelligent* TDM, sebagai alternatif *synchronous* TDM. Efisiensi penggunaan saluran secara

lebih baik dibandingkan FDM dan TDM. Memberikan kanal hanya pada terminal yang membutuhkannya dan memanfaatkan sifat lalu lintas yang mengikuti karakteristik statistik. STDM dapat mengidentifikasi terminal mana yang menganggur / terminal mana yang membutuhkan transmisi dan mengalokasikan waktu pada jalur yang dibutuhkannya. Untuk *input*, fungsi *multiplexer* ini untuk menscan *buffer buffer input*, mengumpulkan data sampai penuh, dan kemudian mengirim *frame* tersebut. Dan untuk *output, multiplexer* menerima suatu *frame* dan mendistribusikan *slot slot* data ke *buffer output* tertentu.

Jenis-jenis MUX :

- Mux inversi, dilengkapi *path* data antara komputer dan mengambil jalur berkecepatan tinggi dan memisahkan menjadi beberapa jalur yang berkecepatan rendah yang akan dikombinasikan dengan mux inversi lain yang telah tersambung dengan komputer lain.
- Mux T-1, Mux khusus yang dikombinasikan dengan unit pelayanan data berkapasitas tinggi yang mengoperasi-kan ujung sambungan mux T-1 (sambungan komunikasi yang bertransmisi pada 1,544 juta bps yang dibagi menjadi sirkuit tingkat suara 24, 48, 96.
- Mux multiport, mengombinasikan modem dan peralatan mux divisi waktu menjadi peralatan tunggal. Jalur *input* modem mempunyai kecepatan transmisi beraneka ragam.
- Mux Fiber Optik, berorientasi pada beberapa *chanel* data dimana tiap *channel* bertransmisi pada 64000 bps per channel dan melakukan multiplex pada *channel* menjadi 14 juta bps pada jalur fiber optik.

Konsentrator / pengumpul

Merupakan antarmuka antara sejumlah terminal dengan saluran ke komputer pusat. Digunakan sebagai pengganti/ bersama dengan mux. Seperti mux, tapi pada mux, data yang diterima segera diteruskan ke tujuan. Konsentrator akan mengumpulkan semua data yang diterimanya sampai batas waktu tertentu dan kemudian baru disalurkan secara bersamaan ke tujuan. Sering mempunyai prosesor dan memori sendiri sehingga membebaskan komputer utama dari masalah komunikasi data dan melakukan pemeriksaan data yang diterima / dikirim dan bila perlu melakukan koreksi.
Tugas konsentrator :

[1]. Line *servicing*, membentuk hubungan, identifikasi terminal, menentukan kecepatan dan pelayanan yang dibutuhkan dan *polling*.
[2]. Konversi kecepatan dan kode, dapat melacak sinyal masuk dan mengetahui kecepatannya, dan kecepatan / kode akan dikonversi sesuai dengan kebutuhan.
[3]. Meratakan *traffic*, menggunakan saluran secara efisien. Contohnya tiap terminal dapat mengirimkan datanya walaupun pihak yang dituju masih sibuk. Data yang dikirimkan akan disimpan untuk sementara waktu dan dikirimkan ke tujuan bilamana tempat yang dituju bebas.
[4]. *Error control*, data yang masuk diperiksa keandalannya dan memberikan kode untuk pengiriman data ke komputer pusat. Dan dapat melayani permintaan pengulangan pengiriman data karena terjadi kesalahan. Memungkinkan ekspansi sistem tanpa perlu mengganggu pusat. Dapat mengganti jenis terminal dengan yang lebih efisien tanpa modifikasi pada pusat.

AKUISISI DATA

Data akuisisi sistem pada dunia industri banyak di gunakan sebagai penunjang dalam proses otomatisasi dan *safety*, seperti: Pada mesin *printing*, kontrol temperatur pada mesin produksi, temperatur di bagian tertentu pada mesin akan di tangkap dari sebuah sensor *thermocouple*. Kemudian, akan di tampilkan pada suatu *interface* sekaligus operator bisa memonitor dan *mensetting temperature* yang inginkan. Jika ada masalah dengan *temperature* maka mesin akan memberi sinyal alarm dengan kinerja seperti ini maka obyek bisa terkontrol dan termonitor oleh operator dari satu tempat. Begitu juga pada *control* tekanan, garis dan warna, mesin akan bergerak mengikuti sesuai dengan parameter *setting* yang di inginkan. penerapan lain, yaitu memonitoring dan *control* proses produksi di suatu industri secara *on line* dimana suatu kegiatan automatisisasi proses industri bisa di awasi dan di kendalikan dari jarak jauh, misalkan ada kerja sama antara *suplyer* mesin dengan *customer* sebagai penerima jasa dan operator dengan nilai kontrak produksi tertentu. Maka, mesin akan berhenti apabila jumlah produksi yang bagus telah mencapai jumlah dari kontrak yang telah di sepakati,

data- data dari mesin akan terakumulasi antara data kelayakan mesin dan hasil produksi. Jika mendekati batas yang telah di sepakati maka mesin akan memberi sinyal bahwa jumlah produksi yang bagus sesuai dengan QC sudah mendekati nilai kontrak yang di sepakati, dan apabila tidak di konfirmasi sampai batas maksimal produksi maka mesin secara otomatis berhenti dan tidak bisa di jalankan, dan apabila ada masalah dari mesin maka pihak *suplayer* mesin bisa memantau dan *trouble shooting* secara *on line*. Data akuisisi sistem pada dunia konstruksi banyak di gunakan sebagai penunjang dalam proses pengawasan dan Analisa kekuatan suatu bangunan, misalnya: Memonitor kekuatan jembatan dengan *load test* , dengan meletakan beberapa sensor pada titik-titik tertentu dan di dukung dengan kamera pada posisi tertentu maka dapat menangkap gejala dan perubahan yang ada pada jembatan tersebut dengan demikian kekuatan pada jembatan tersebut dapat di monitor secara berkala maupun langsung yang bisa disebut dengan struktur *health monitoring system*. Dengan melakukan uji dan pengukuran seperti ini maka bisa di ketahui berapa berat maksimal beban yang sanggup di pikul dari suatu jembatan. Begitu juga pada pengawasan kekuatan suatu gedung atau bangunan terowongan Menara. Dengan melakukan uji, pengukuran, dan pengawasan dengan kamera maka akan didapat *input* data, dari data-data tersebut kemudian di proses dengan menghasilkan suatu simpulan data. Data akuisisi sistem tidak hanya dapat di implematisikan pada hal-hal seperti ini saja, di bidang yang lain juga sangat banyak yang menjalankan sistem kontrol yang hampir sama.

Akuisisi data juga diartikan kumpulan komponen yang saling bekerja sama yang tujuannya melakukan pengumpulan, penyimpanan, pengolahan data, dan melakukan distribusi data untuk menghasilkan informasi yang bermakna dan berguna untuk proses pengambilan keputusan (*decision* making *process*).Sistem akuisisi data dapat dikembangkan menjadi suatu sistem pengukuran/pengambilan data jarak jauh yang disebut *telemetri,* dengan menggunakan gelombang radio atau sinar *infra* merah yang biasanya disebut *wireless* data transfer sistem. Sistem akuisisi data digunakan untuk mengukur dan mencatat sinyal yang pada dasarnya diperoleh dengan dua cara.

[1]. Sinyal yang berasal dari pengukuran langsung besaran-besaran listrik. Besaran listrik itu bisa berupa tegangan, frekuensi, atau tahanan, dan hal-hal yang sering dijumpai dalam pengujian

komponen elektronik, penelitian lingkungan, dan analisis kualitas.

[2]. Sinyal yang asal dari transduser, misalnya *strain gauge*, termokopel,.

Sistem akuisisi data dapat dikelompokkan dalam dua kelas utama, yaitu

[1]. Sistem akuisisi data analog,
Sistem akuisisi data analog mengukur informasi dalam bentuk analog, yaitu fungsi yang kontinu terhadap waktu.

[2]. Sistem akuisisi data digital.
Sistem akuisisi data digital mengukur informasi dalam bentuk digital, besaran yang terdiri pulsa pulsa diskrit yang tidak kontinu terhadap waktu.

Sistem akuisisi data analog terdiri dari semua atau sebagian elemen berikut ini.

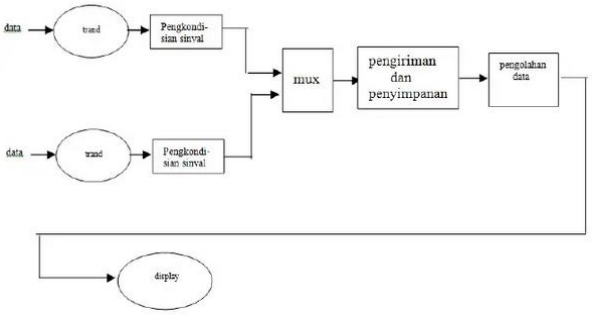
[1]. Transduser, untuk mengubah parameter fisik menjadi sinyal listrik.

[2]. Rangkaian pengkondisi sinyal (*signal conditioner*)), untuk memperkuat, memodifikasi, atau memilih bagian tertentu dari itu.

[3]. Alat peraga visual, untuk memonitor sinyal *input* secara kontinu. Alat ini berupa *Cathode Ray Oscilloscope* (CRO) satu saluran atau multi saluran, CRO penyimpan, alat pencatat pada panel, peraga numerik

[4]. instrumen pencatat grafik,

[5]. instrumen pita magnetik.



Gambar 189 Blok diagram Akuisisi Data

Elemen-elemen sistem akuisisi data digital adalah:

[1]. Transduser

[2]. Rangkaian pengkondisi sinyal

[3]. Multiplekser
[4]. *Signal Converter*
[5]. A/D *Converter*
[6]. Perlengkapan pembantu
[7]. Digital *recorder*

Sistem akuisisi data banyak digunakan dalam berbagai bidang industri dan ilmu pengetahuan, juga digunakan dalam SCADA (*supervisory control and data acquisition*), robotik, biomedikal, ruang angkasa, dan industri telemetri. Apakah sistem akuisisi data analog atau digital yang digunakan tergantung pada pengambilan data masukan apa yang diperlukan. Secara umum, sistem akuisisi data *analog* digunakan bila memerlukan *bandwidth* yang lebar, atau bila memerlukan ketelitian lebih rendah yang dapat ditoleransi. Sedangkan sistem akuisisi data digital digunakan bila proses fisik yang dimonitor berubah secara lambat (*bandwidth* sempit), dan bila memerlukan ketelitian tinggi serta biaya rendah untuk setiap kanal. Sistem akuisisi data digital meliputi, menurut kerumitannya, sistem pengukuran dan pencatatan tegangan DC satu saluran sampai sistem saluran ganda otomatik yang rumit untuk mengukur sejumlah besar parameter masukan dibandingkan dengan *preset* sebelumnya dan melakukan komputasi serta pengambilan keputusan terhadap sinyal masukan. Umumnya, sistem akuisisi data *digital* lebih rumit dari pada sistem akuisisi data *analog*, dan keduanya dinyatakan dengan instrumentasi yang terlibat dan *volume* serta kerumitan data masukan yang dapat ditanganinya. Bentuk Sistem Akuisisi Data ada bermacam-macam, tergantung pada sifat datanya dan persyaratan aplikasinya. Persyaratan aplikasi itu termasuk *resolusi* dan akurasinya, juga lingkungan dimana sistem itu berada. Sebuah perekam kanal tunggal dengan pembacaan langsung cukup untuk aplikasi yang sederhana, misalnya pada perekam grafik atau atau alat ukur. Untuk yang baik, diperlukan sistem dengan multi kanal yang rumit, dimana data di *sampling*, diolah, dan dikirim ke pusat komputer.

Dalam buku ini akan dipelajari sistem akuisisi data digital multikanal dan masalah-masalah yang terkait dengan sistem seperti itu. Sebuah Sistem Akuisisi Data Digital secara aktual berupa *interface* antara lingkungan analog dengan lingkungan digital. Lingkungan analog meliputi *transduser* dan pengkondisi sinyal

dengan segala perlengkapannya, sedangkan lingkungan digital meliputi *Analog to Digital Converter*. *Central Processing* Unit ada yang menggunakan *mikroprosesor*, disebut sistem akuisisi data berbasis *mikroprosesor*, atau yang menggunakan mikrokontroler, yang merupakan pengembangan dari mikroprosesor yang dilengkapi dengan memori dan *input output* dalam sebuah *single chip* yang dikemas lebih kecil dengan jumlah pin lebih sedikit, atau yang menggunakan *programmable logic controller* (PLC). Ada juga sistem akuisisi data berbasis *fuzzy logics*. Akuisisi Data merupakan sarana pengumpulan informasi. Biasanya, sistem akuisisi data yang digunakan di dalam industri merupakan sistem yang real *time*. Sistem yang real *time* ini mempunyai ciri kemampuan untuk mengumpulkan data atau melakukan tugas kendali (kontrol) dalam selang waktu yang dapat diterima. Durasi selang waktu itu tergantung seberapa cepat sistem tersebut harus tanggap, yang merupakan fungsi dari persyaratan kecepatan dan akurasi untuk aplikasi tertentu. Perangkat keras yang digunakan untuk mengumpulkan data disebut **sistem akuisisi data**. Sistem akuisisi data berfungsi sebagai antarmuka (*interface*) antara dunia nyata (*real world*) *parameter fisik*, yang analog, dengan dunia komputer, yang digital. Sistem akuisisi data merupakan sistem instrumentasi elektronik yang terdiri dari sejumlah elemen yang secara bersama sama bertujuan melakukan pengukuran, menyimpan, dan mengolah hasil pengukuran. Semua besaran fisik yang akan diukur, diamati, disimpan, dan dikontrol dapat berupa suhu, tekanan, cahaya , suara. Di *real world* besaran fisik itu berbentuk analog. Sedangkan sistem akuisisi data berbasis *mikroprosesor* merupakan sistem digital, hanya dapat mengolah sinyal sinyal listrik digital. Jadi besaran fisik analog harus dikonversi lebih dulu menjadi besaran listrik digital yang setara. Sebuah sistem akuisisi data terdiri dari elemen-elemen utama: elemen masukan, elemen sampling, elemen kontrol, dan elemen keluaran. Diagram blok sebuah sistem akuisisi data di atas ini menunjukkan bagian-bagian penting dari sistem yang mempunyai bermacam-macam transduser yang terhubung pada *input* rangkaian pengkondisi sinyal. Tergantung pada sinyal transduser, *input* rangkaian pengkondisi sinyal dapat digunakan sebagai penguatan (*amplification*), *offset*, atau sebagai filter. Gain dari rangkaian pengkondisi dapat dikendalikan oleh *central processing* unit (CPU) untuk mengatur *input* sesuai dengan level yang tepat. Sinyal-sinyal *input* itu kemudian disalurkan ke *analog to digital converter* (A/D converter) melalui sebuah *multiplekser*

(*selector switch*) (MUX). Bila data analog itu berbentuk sebuah gelombang sinusoida, maka sebuah bisa menggunakan *low pass filter* untuk menghindari yang dinamakan aliasing effects. A/D converter mengonversi sinyal analog menjadi sebuah sinyal digital yang selanjut diumpankan pada CPU. CPU itu yang mengendalikan, merekam, menganalisis, dan melapor/menampilkan data yang diakuisisi. Data tersebut dapat digunakan dalam bentuk digital, atau dikonversi oleh sebuah D/A *converter* menjadi bentuk analog. Jika sinyal analog itu *sinussoida*, maka diperlukan *sebuah correction filter* pada *output* untuk membentuk ulang (*reshape*) *frequency response* dari sistem. *Output* yang analog itu dapat digunakan untuk mengendalikan sistem itu, atau *output* yang analog itu dapat juga dihubungkan dengan alat analog yang lain misalnya *chart recorder, osiloskop*, atau peralatan peralatan ukur.

Elemen Elemen Penunjang Sistem Akuisisi Data

Sistem terdiri dari sejumlah elemen atau komponen yang saling berhubungan yang satu dengan yang lain melakukan kerja sama untuk mencapai tujuan atau fungsi sistem. Elemen-elemen Data *Acquisition* System yang saling berhubungan yang satu dengan yang lain adalah sebagai berikut;

[1]. Transduser

Transduser adalah elemen yang berfungsi untuk mengubah suatu besaran fisik menjadi besaran listrik. Transduser mengubah besaran mekanik menjadi menjadi besaran listrik yang dapat berupa tegangan atau arus listrik. Transduser suhu mengubah besaran suhu (derajat suhu) menjadi besaran listrik berupa tegangan atau arus listrik. Dalam praktik banyak contoh transduser yang dipakai dalam sistem akuisisi data, misalnya *physically displacement transducer, humidity transducer, thercouple, accelerometer, tachometer, strain gage transducer.*

[2]. ***Operational Amplifier***

Tegangan atau arus listrik yang dihasilkan sebuah transduser itu biasanya kecil. Sedangkan komponen A/C *converter* yang digunakan dalam sistem akuisisi data bekerja dalam skala penuh,

misalnya 0 s/d 5 volt, -5 s/d +5 volt, 0 s/d 10 volt dan sebagainya, tergantung pada mode *input* dan spesifikasi komponen yang dipakai. Oleh karena itu diperlukan yang dinamakan sebuah rangkaian *signal conditioner*, untuk memperkuat sinyal *output* dari transduser menjadi cukup besar untuk diumpankan pada A/D *converter*. Rangkaian *signal conditioner* itu menggunakan yang dinamakan OPAMP (*operational amplifier*)

[3]. *Instrumentation Amplifier*

Instrumentation Amplifier diperlukan bila data analog yang diperoleh hendak ditransmisikan melalui jarak yang cukup jauh, dan juga untuk meredam interferensi, bila ada. Karakteristik *instrumentation amplifier* yang penting adalah yang dinamakan *common mode rejection ratio* (CMRR) yang tinggi, impedansi *input* yang tinggi, dan gain yang dapat diprogram.

[4]. Isolator

Sebagai pemisah antara sumber sinyal dengan sistem akuisisi data diperlukan sebuah yang dinamakan *isolation transformer*, *optical isolation*, atau *fiber optic*.

[5]. Rangkaian Fungsi Analog

Untuk fungsi-fungsi yang tetap, rangkaian analog lebih sederhana dan lebih *real time* dibandingkan rangkaian pemroses (pengolah) digital. Fungsi-fungsi yang diwujudkan dengan rangkaian analog antara lain, *multiplier, divider, adder, subtractor*, dan fungsi-fungsi non linier yang lain.

[6]. Multiplekser Analog

Jika sinyal analog yang akan diproses berasal dari beberapa sumber, atau dari kanal komunikasi yang sama, melewati *single converter*, maka diperlukan sebuah *multiplekser analog* untuk mengkopel dan mengatur sinyal tersebut.

[7]. Rangkain *Sample and Hold*

Rangkaian *sample and hold diperlukan*, karena dalam beberapa hal sinyal analog bervariasi cukup cepat, sementara konversi sinyal dari analog ke digital memerlukan selang waktu tertentu, dan *A/D Converte* tidak bisa mendigitalkan *input analog* dengan sangat segera,

sehingga perubahan yang cukup besar pada sinyal *input* selama proses konversi dapat menimbulkan kesalahan yang cukup besar.

[8]. Analog to Digital Converter

A/D Converter melakukan konversi data analog menjadi data digital yang setara. Spesifikasi *A/D Converter* yang utama adalah ketelitian absolut dan relatif, *linieritas*, resolusi, kecepatan konversi, *stabilitas, no missing code*, dan nilai komponen. Hal lain yang terkait ialah batas tegangan *output, output* kode digital, teknik *interfacing, multiplekser internal*, rangkaian *signal conditoner, dan memori.*

[9]. Digital to Analog Converter

Data yang telah diproses mengalami pemrosesan, penyimpanan, dan bahkan transmisi secara digital. Mengonversi kembali dari bentuk digital menjadi bentuk analog dilakukan dengan D/A *Converter*.

[10]. Prosesor Data Digital

Prosesor ini mengolah hasil konversi A/D Converter secara digital.

[11]. Filter

Untuk menghilangkan *noise* yang ada, maka digunakan filter untuk melewatkan sinyal dengan frekuensi yang diinginkan, dan meredam frekuensi yang lain. Filter dapat diwujud secara *hardware*, maupun secara *software*.

SCADA

SCADA (*Supervisory Control And Data Acquisition*) umumnya mengacu pada sistem kontrol industri: sistem komputer yang memantau dan mengontrol industri, infrastruktur, atau fasilitas berbasis proses, seperti yang dijelaskan di bawah ini. Proses-proses industri termasuk proses-proses manufaktur, produksi, pembangkit listrik, fabrikasi, dan pemurnian, dan yang dapat berjalan secara kontinu, *batch*, berulang, atau mode diskrit. Proses-proses infrastruktur, baik yang publik atau yang swasta, termasuk pengolahan dan distribusi air, pengumpulan dan *treatment* air limbah, pipa minyak dan gas, transmisi dan distribusi tenaga listrik, pembangkit listrik tenaga angin, alarm sistem pertahanan sipil, dan

sistem komunikasi yang besar. Proses fasilitas baik di fasilitas yang publik dan yang swasta, termasuk bangunan, bandara, kapal, dan stasiun ruang angkasa. Proses-proses itu memantau dan mengendalikan pengkondisi panas, ventilasi dan udara (*heat, ventilation, and air conddition/HVAC*), akses, dan konsumsi energi.

Komponen Sistem

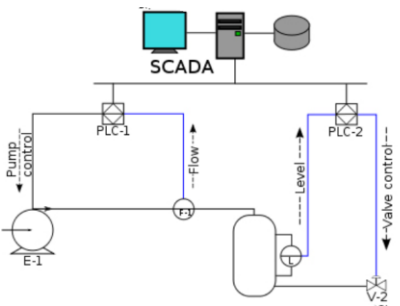
Pada umumnya Sistem SCADA biasanya terdiri dari sub sistem berikut: *Human Machine Interface* atau HMI adalah peralatan yang menyajikan proses data ke operator manusia, dan melalui HMI ini, monitor operator manusia dapat memonitor dan mengontrol proses. Sebuah sistem (komputer) supervisi (pengawasan) mengumpulkan (akuisisi) data proses dan mengirim perintah (kontrol) untuk proses. *Remote* Terminal Unit (RTU) menghubungkan ke sensor dalam proses, mengonversi sinyal sensor ke data digital dan mengirim data digital untuk sistem supervisi (pengawasan). *Programmable Logic Controller* (PLC) digunakan sebagai perangkat lapangan karena PLC lebih ekonomis, serbaguna, fleksibel, dan lebih mudah dikonfigurasi dibandingkan dengan RTU khusus. Pada beberapa industri, ada kebingungan besar atas perbedaan antara sistem SCADA dan sistem kontrol terdistribusi (*Distributed Control System*). Secara umum, sebuah sistem SCADA selalu mengacu pada sistem yang dapat mengkoordinasikan, namun tidak dapat mengendalikan proses secara real *time*. Pembahasan mengenai kontrol real *time* agak kabur dengan teknologi telekomunikasi baru, yang memungkinkan untuk diandalkan, *latency* rendah, komunikasi kecepatan tinggi di daerah yang luas. Kebanyakan perbedaan antara SCADA dan DCS ditentukan secara kultural dan biasanya dapat diabaikan. Karena infrastruktur komunikasi dengan kapasitas yang lebih tinggi mudah diperoleh, maka perbedaan antara SCADA dan DCS akan memudar. Dari hal yang telah dibahas tersebut, dapat dirangkai inti sari nya yaitu :

[1]. DCS adalah proses yang berorientasi, sedangkan SCADA data akuisisi berorientasi.
[2]. DCS adalah *process driven* (proses yang dikendalikan), sementara SCADA adalah *event driven*.
[3]. DCS umumnya digunakan untuk menangani operasi pada sebuah tempat/lokal, sedangkan SCADA lebih disukai untuk aplikasi yang tersebar di lokasi geografis yang luas.

[4]. Operator stasiun DCS selalu terhubung ke I/O, sedangkan SCADA diharapkan untuk beroperasi meskipun ada kegagalan komunikasi di lapangan.

Konsep Sistem SCADA

Sistem SCADA biasanya mengacu pada sistem terpusat yang memonitor dan mengontrol seluruh situs, atau sistem yang kompleks tersebar di daerah yang luas. Tindakan kontrol kebanyakan dilakukan secara otomatis oleh *Remote* Terminal Unit (RTU) atau dengan *Programmable Logic Controller* (PLC). Fungsi fungsi kontrol PLC/SCADA biasanya terbatas pada mengabaikan/membatalkan atau mengintervensi tingkat supervisi/pengawasan yang dasar. Sebagai contoh, sebuah PLC dapat mengontrol aliran air pendingin seluruh bagian dari proses industri, tetapi sistem SCADA dapat memungkinkan operator untuk mengubah set poin untuk aliran, dan memungkinkan kondisi alarm, seperti hilangnya aliran dan suhu tinggi, untuk ditampilkan dan dicatat. *Loop* kontrol umpan balik melewati RTU atau PLC, sedangkan sistem SCADA memantau kinerja keseluruhan dari *loop*.



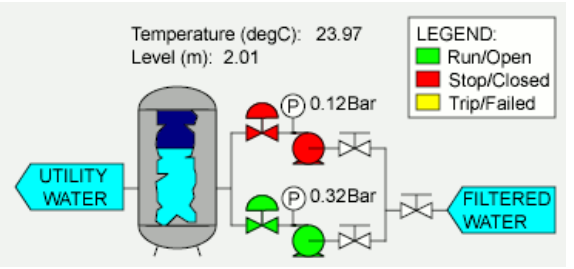
Gambar 190 Blok diagram SCADA

Akuisisi data dimulai pada tingkat RTU atau PLC dan termasuk pembacaan meter dan laporan status peralatan yang dikomunikasikan kepada SCADA bila diperlukan. Data kemudian dikompilasi dan diformat sedemikian rupa sehingga operator ruang kontrol dengan menggunakan HMI dapat mengambil keputusan pengawasan untuk menyesuaikan atau *override* (menimpa) kontrol RTU (PLC) yang normal. Data juga dapat diumpankan ke perangkat lunak aplikasi yang mencatat data, biasanya dibangun pada Sistem

Basis Data Manajemen komoditas, untuk memungkinkan analisis kecenderungan dan audit lainnya. Sistem SCADA biasanya menerapkan *data Base* terdistribusi, sering disebut sebagai *tag data Base*, yang berisi elemen data yang disebut tag atau poin. Titik mewakili satu *input* atau *output* nilai dimonitor atau dikontrol oleh sistem. Poin dapat berupa 'keras' atau 'lunak'. Sebuah *hard point* merupakan masukan aktual atau *output* dalam sistem, sementara hasil *soft point* (titik lunak) dari logika dan operasi matematika diterapkan pada poin lainnya. (Kebanyakan implementasi konseptual menghapus perbedaan dengan jalan membuat setiap properti "lunak" titik ekspresi, yang mungkin, dalam kasus yang paling sederhana, sama titik keras tunggal.) Poin biasanya disimpan sebagai nilai *time stamp* pasangan: nilai, dan *time stamp* saat tercatat atau dihitung. Serangkaian nilai *time stamp* pasangan memberikan sejarah saat itu. Ini juga umum untuk menyimpan metadata tambahan dengan tag, seperti jalan ke perangkat lapangan atau PLC mendaftar, komentar desain waktu, dan informasi alarm.

Antarmuka Manusia dengan Mesin

Sebuah Antarmuka Manusia dengan Mesin (*Human Machine Interface*) adalah yang menyajikan proses data ke operator manusia, dan melalui mana operator manusia mengendalikan proses.



Gambar 191 Animasi SCADA

HMI adalah biasanya berhubungan dengan data Base sistem SCADA dan program perangkat lunak, untuk menyediakan tren, data *diagnostik*, dan informasi manajemen seperti prosedur pemeliharaan terjadwal, informasi logistik, skema rinci untuk sensor tertentu atau mesin, dan ahli-sistem panduan *troubleshooting*. Sistem HMI biasanya menyajikan informasi kepada personil operasi

grafis, dalam bentuk diagram meniru. Ini berarti bahwa operator dapat melihat representasi skematis dari pabrik yang dikontrol. Sebagai contoh, gambar pompa yang terhubung ke pipa dapat menunjukkan operator yang pompa berjalan dan berapa banyak cairan itu adalah memompa melalui pipa saat ini. Operator kemudian dapat beralih pompa *off*. Perangkat lunak HMI akan menunjukkan laju aliran cairan dalam pipa penurunan secara real *time*. *Mimic* diagram dapat terdiri dari garis dan simbol grafis skematik untuk mewakili elemen proses, atau dapat terdiri dari foto digital dari peralatan proses dilapisi dengan simbol animasi. Paket HMI untuk sistem SCADA biasanya mencakup sebuah program gambar yang operator atau pemeliharaan sistem personil digunakan untuk mengubah cara ini poin yang diwakili dalam *interface*. Representasi ini dapat yang sederhana seperti lampu lalu lintas pada layar, yang mewakili negara dari sebuah lampu lalu lintas aktual di lapangan, atau sebagai kompleks sebagai layar *multi proyektor* yang mewakili posisi semua lift di gedung pencakar langit atau semua kereta di kereta api. Suatu bagian penting dari implementasi yang paling SCADA adalah penanganan alarm. Sistem ini memonitor apakah kondisi alarm tertentu dipenuhi, untuk menentukan kapan sebuah peristiwa alarm telah terjadi. Setelah acara *weker* telah terdeteksi, satu atau lebih tindakan diambil (seperti aktivasi satu atau lebih indikator alarm, dan mungkin generasi pesan email atau teks sehingga manajemen atau remote SCADA operator diberitahu). alam banyak kasus, operator SCADA mungkin harus mengakui acara alarm, hal ini akan menonaktifkan beberapa indikator alarm, sedangkan indikator lainnya tetap aktif sampai kondisi alarm akan dihapus. Kondisi alarm dapat eksplisit, misalnya, titik alarm titik digital yang memiliki status yang baik "normal" nilai atau" alarm" yang dihitung dengan formula berdasarkan nilai-nilai dalam analog lain dan poin digital atau *implisit* sistem SCADA mungkin secara otomatis memantau apakah nilai dalam jalur *analog* terletak di luar nilai batas tinggi dan rendah yang terkait dengan titik tersebut. Contoh indikator alarm termasuk *sirene*, kotak *pop up* di layar, atau area berwarna atau berkedip pada layar (yang mungkin bertindak dengan cara yang mirip dengan "tangki bahan bakar kosong" cahaya di mobil), dalam setiap kasus , peran indikator alarm untuk menarik perhatian operator untuk bagian dari sistem 'di alarm' sehingga tindakan tepat dapat diambil. Dalam merancang sistem SCADA, perawatan diperlukan dalam mengatasi kaskade peristiwa alarm yang terjadi dalam waktu

singkat, jika penyebab (yang tidak mungkin acara awal terdeteksi) dapat tersesat dalam kebisingan. Sayangnya, bila digunakan sebagai kata benda, 'alarm' kata yang digunakan agak longgar dalam industri, dengan demikian, tergantung pada konteks itu mungkin berarti titik alarm, indikator alarm, atau suatu peristiwa alarm. Hardware solusi *solutions* SCADA sering memiliki *Distributed Control System* (DCS) komponen. Penggunaan "pintar" RTU atau PLC, yang mampu mandiri melaksanakan proses logika sederhana tanpa melibatkan komputer master, meningkat. Sebuah bahasa pemrograman kontrol standar, IEC 61131-3 (*suite* dari 5 bahasa pemrograman termasuk Blok Fungsi, Tangga, Teks Terstruktur, urutan Grafik Fungsi dan Daftar Instruksi), sering digunakan untuk membuat program yang berjalan pada RTU dan PLC. Tidak seperti bahasa prosedural seperti pemrograman bahasa C atau FORTRAN, IEC 61131-3 memiliki persyaratan minimal pelatihan berdasarkan menyerupai bersejarah *array* kontrol fisik. Hal ini memungkinkan sistem SCADA untuk melakukan baik desain dan implementasi program yang akan dilaksanakan pada RTU atau PLC. Sebuah *controller Programmable otomatisasi* (PAC) adalah kontroler kompak yang menggabungkan *fitur* dan kemampuan sistem kontrol berbasis PC dengan sebuah PLC yang khas. PAC dikerahkan di sistem SCADA untuk menyediakan fungsi RTU dan PLC. Dalam banyak aplikasi SCADA gardu listrik, "didistribusikan RTUs" menggunakan prosesor informasi atau komputer untuk berkomunikasi dengan stasiun *relay* pelindung digital, PAC, dan perangkat lain untuk I/O, dan berkomunikasi dengan master SCADA sebagai pengganti RTU tradisional. Sejak sekitar tahun 1998, hampir semua produsen utama PLC telah menawarkan terpadu HMI / SCADA sistem, banyak dari mereka menggunakan buka dan non-eksklusif protokol komunikasi. Banyak khusus pihak ketiga HMI / SCADA paket, yang menawarkan *built* in kompatibilitas dengan PLC yang paling utama, juga telah memasuki pasar, yang memungkinkan para insinyur mekanik, insinyur dan teknisi listrik untuk mengonfigurasi HMIS sendiri, tanpa perlu *program custom made* yang ditulis oleh pengembang perangkat lunak. Satuan Terminal jarak jauh (RTU) RTU yang terhubung ke peralatan fisik. Biasanya, sebuah RTU mengubah sinyal listrik dari peralatan untuk nilai-nilai digital seperti status terbuka / tertutup dari *switch* atau katup, atau pengukuran seperti tekanan, aliran tegangan, atau arus. Dengan mengubah dan mengirimkan sinyal-sinyal listrik ke peralatan RTU dapat mengontrol peralatan, seperti

membuka atau menutup sakelar atau klep, atau pengaturan kecepatan pompa. Hal ini juga dapat mengontrol aliran cairan. Istilah "Stasiun Pengawasan" merujuk ke *server* dan perangkat lunak bertanggung jawab untuk berkomunikasi dengan peralatan lapangan (RTUs, PLC,), dan kemudian ke HMI perangkat lunak yang berjalan pada *workstation* di ruang kontrol, atau di tempat lain. Dalam sistem SCADA yang lebih kecil, master stasiun mungkin terdiri dari satu PC. Dalam sistem SCADA yang lebih besar, master stasiun mungkin termasuk beberapa server, aplikasi perangkat lunak yang didistribusikan, dan situs pemulihan bencana. Untuk meningkatkan integritas sistem beberapa server sering akan dikonfigurasi dalam *formasi dual* berlebihan atau panas siaga menyediakan kontrol dan pemantauan terus menerus dalam hal kegagalan server. Beberapa instalasi, biaya yang akan dihasilkan dari sistem kontrol gagal sangat tinggi. Mungkin bahkan nyawa bisa hilang. *Hardware* untuk beberapa sistem SCADA *ruggedized* menahan suhu, getaran, dan ekstrem tegangan, tetapi di sebagian keandalan instalasi penting ditingkatkan dengan memiliki perangkat keras berlebihan dan saluran komunikasi, sampai ke titik memiliki beberapa pusat kontrol lengkap. Bagian gagal dapat dengan cepat diidentifikasi dan fungsi secara otomatis diambil alih oleh perangkat keras cadangan. Sebuah bagian yang gagal sering dapat diganti tanpa mengganggu proses. Keandalan sistem tersebut dapat dihitung statistik dan dinyatakan sebagai waktu berarti kegagalan, yang merupakan varian dari waktu yang berarti antara kegagalan. Waktu yang berarti dihitung kegagalan seperti sistem keandalan yang tinggi dapat di urutan berabad-abad. Infrastruktur komunikasi dan sistem SCADA secara tradisional digunakan kombinasi radio dan koneksi langsung serial atau modem untuk memenuhi kebutuhan komunikasi, meskipun *Ethernet* dan IP over SONET / SDH juga sering digunakan pada situs-situs besar seperti kereta api dan pembangkit listrik. Manajemen *remote* atau fungsi pemantauan sistem SCADA sering disebut sebagai telemetri. *SCADA Modbus RTU* protokol termasuk, *RP-570, Profibus* dan *Conitel.* Ini semua adalah protokol komunikasi *SCADA vendor* spesifik tetapi banyak diadopsi dan digunakan. Protokol IEC 60870-5-101 Standar atau 104, IEC 61850 dan DNP3. Protokol-protokol komunikasi standar dan diakui oleh semua vendor SCADA utama. Banyak dari protokol ini sekarang berisi ekstensi untuk beroperasi melalui TCP/IP. Keamanan praktik rekayasa yang baik untuk menghindari sistem SCADA menghubungkan ke *Internet* sehingga

serangan permukaan berkurang, banyak industri, seperti pengumpulan air limbah dan distribusi air, telah menggunakan jaringan seluler yang ada untuk memantau infrastruktur mereka bersama dengan *portal internet* untuk *end data* pengguna pengiriman dan modifikasi. Praktik ini telah berlangsung selama bertahun-tahun dengan tidak ada insiden pelanggaran data yang dikenal sampai saat ini. Seluler jaringan data sepenuhnya dienkripsi, menggunakan standar *enkripsi* canggih, sebelum transmisi dan internet transmisi data, melalui situs "*https*", sangat aman. RTU dan perangkat pengontrol otomatis sedang dikembangkan sebelum munculnya standar industri yang luas untuk *interoperabilitas*. Hasilnya adalah bahwa pengembang dan manajemen mereka menciptakan banyak protokol kontrol. Di antara vendor besar, ada juga insentif untuk membuat protokol sendiri untuk "mengunci" basis pelanggan mereka. Daftar protokol otomasi sedang disusun di sini. Baru-baru ini, OLE Pengendalian Proses (OPC) telah menjadi solusi yang diterima secara luas untuk *intercommunicating hardware* yang berbeda dan *software,* yang memungkinkan komunikasi bahkan antara perangkat awalnya tidak dimaksudkan untuk menjadi bagian dari jaringan industri.

Arsitektur SCADA

Pelatihan Manual Angkatan Darat Amerika Serikat 5-601 mencakup "Sistem SCADA untuk Fasilitas C4ISR" sistem SCADA telah berevolusi melalui 3 generasi sebagai berikut:.

Generasi pertama: "Monolitik" Pada generasi pertama, komputasi dilakukan oleh komputer *mainframe*. Jaringan tidak ada pada saat SCADA dikembangkan. Jadi sistem SCADA adalah sistem *independen* yang tidak memiliki koneksi ke sistem lain. *Wide Area Networks* kemudian dirancang oleh vendor RTU untuk berkomunikasi dengan RTU. Protokol komunikasi yang digunakan sering eksklusif pada waktu itu. Sistem generasi pertama SCADA adalah berlebihan sejak sistem *mainframe back up* terhubung di tingkat bus dan digunakan dalam hal kegagalan sistem *mainframe* utama.

Generasi kedua: "*Terdistribusi*"pemrosesan tersebut didistribusikan di beberapa stasiun yang terhubung melalui *LAN* dan mereka berbagi informasi secara *real time*. Setiap stasiun bertanggung jawab untuk suatu tugas tertentu sehingga membuat ukuran dan biaya

dari setiap stasiun kurang dari yang digunakan dalam Generasi Pertama. Protokol jaringan yang digunakan kebanyakan masih *proprietary*, yang menyebabkan masalah keamanan yang signifikan untuk sistem SCADA yang mendapat perhatian dari seorang *hacker*. Karena protokol yang *proprietary*, sangat sedikit orang di luar pengembang dan *hacker* tahu cukup untuk menentukan bagaimana mengamankan instalasi SCADA itu. Karena kedua belah pihak memiliki kepentingan pribadi dalam menjaga masalah keamanan tenang, keamanan instalasi SCADA sering buruk berlebihan, apakah itu dianggap sama sekali.

Generasi Ketiga: "Jaringan" Ini adalah generasi sekarang yang menggunakan sistem SCADA arsitektur sistem terbuka daripada lingkungan yang dikendalikan vendor *proprietary*. Sistem SCADA menggunakan standar terbuka dan protokol, sehingga mendistribusikan fungsionalitas di WAN bukan LAN. Hal ini lebih mudah untuk menghubungkan perangkat pihak ketiga periferal seperti *printer, disk drive*, dan *drive tape* akibat penggunaan arsitektur terbuka. Protokol WAN seperti *Internet Protocol* (IP) yang digunakan untuk komunikasi antara stasiun master dan peralatan komunikasi. Karena penggunaan protokol standar dan fakta bahwa banyak jaringan sistem SCADA dapat diakses dari *Internet,* sistem berpotensi rentan terhadap serangan *cyber remote*. Di sisi lain, penggunaan protokol standar dan teknik keamanan berarti bahwa perbaikan standar keamanan yang berlaku untuk sistem SCADA, dengan asumsi mereka menerima perawatan yang tepat waktu dan *update*.

Tren SCADA

North American Electric Corporation telah menentukan Keandalan bahwa data sistem listrik harus waktu tag ke milidetik terdekat. Listrik sistem SCADA sistem menyediakan fungsi perekam Urutan peristiwa, menggunakan jam Radio untuk menyinkronkan RTU atau didistribusikan RTU jam. Sistem SCADA yang datang sesuai dengan teknologi jaringan standar. *Ethernet* dan protokol berbasis TCP/IP mengganti standar *proprietary* yang lebih tua. Meskipun karakteristik tertentu dari *frame* berbasis teknologi jaringan komunikasi (determinisme, sinkronisasi, protokol pilihan, kesesuaian lingkungan) telah membatasi adopsi *Ethernet* dalam beberapa aplikasi khusus, sebagian besar pasar telah diterima

jaringan *Ethernet* untuk HMI/SCADA. Sebuah beberapa vendor telah mulai menawarkan sistem aplikasi yang spesifik SCADA *host* pada platform *remote* melalui *Internet*. Hal ini menghilangkan kebutuhan untuk penginstal dan sistem komisi di fasilitas pengguna akhir dan mengambil keuntungan dari fitur keamanan yang telah tersedia dalam teknologi internet, dan SSL VPN. Beberapa masalah termasuk keamanan, keandalan koneksi internet, dan *latency*. Sistem SCADA semakin di mana-mana. *Thin client, portal web*, dan produk berbasis web yang mendapatkan popularitas dengan vendor yang paling utama. Kenyamanan meningkat dari pengguna akhir melihat mereka dari jarak jauh memperkenalkan proses pertimbangan keamanan. Sementara pertimbangan sudah dianggap diselesaikan di sektor lain layanan Internet, tidak semua entitas bertanggung jawab untuk menyebarkan sistem SCADA telah memahami perubahan dalam lingkup aksesibilitas dan ancaman implisit dalam menghubungkan sistem ke *Internet*. Keamanan bergerak Masalah dari teknologi *proprietary* untuk solusi yang lebih standar dan terbuka bersama-sama dengan peningkatan jumlah koneksi antara sistem SCADA dan jaringan kantor dan *Internet* telah membuat mereka lebih rentan terhadap serangan. Akibatnya, keamanan dari beberapa sistem berbasis SCADA telah datang ke pertanyaan karena mereka dilihat sebagai berpotensi rentan terhadap serangan *cyber*. Secara khusus, peneliti keamanan prihatin tentang:

- Kurangnya keprihatinan tentang keamanan dan otentikasi dalam desain, penyebaran, dan operasi dari beberapa jaringan SCADA yang ada
- keyakinan bahwa sistem SCADA memiliki manfaat keamanan melalui ke tidak jelasan melalui penggunaan protokol khusus dan eksklusif *interface*
- keyakinan bahwa jaringan SCADA aman karena mereka secara fisik dijamin
- keyakinan bahwa jaringan SCADA aman karena mereka terputus dari Internet.

Sistem SCADA yang digunakan untuk mengontrol dan memantau proses fisik, contoh yang transmisi listrik, transportasi minyak dan gas dalam pipa, distribusi air, lampu lalu lintas, dan sistem lain yang digunakan sebagai dasar dari masyarakat modern. Keamanan sistem ini SCADA penting karena kompromi atau penghancuran sistem ini akan berdampak beberapa daerah masyarakat jauh dari

kompromi asli. Misalnya, terjadi pemadaman listrik yang disebabkan oleh sistem SCADA dikompromikan listrik akan menyebabkan kerugian keuangan untuk semua pelanggan yang menerima listrik dari sumber tersebut. Bagaimana keamanan akan mempengaruhi warisan SCADA dan penyebaran baru masih harus dilihat. Ada dua ancaman yang berbeda untuk sistem SCADA yang modern.

[1]. Adalah ancaman akses tidak sah ke perangkat lunak kontrol, apakah itu akses manusia atau perubahan yang disebabkan sengaja atau sengaja oleh infeksi virus dan ancaman perangkat lunak lain yang berada pada mesin *host kontrol*.
[2]. Kedua adalah ancaman akses paket ke segmen jaringan perangkat *hosting* yang SCADA.

Dalam banyak kasus, ada keamanan yang belum sempurna atau tidak ada pada paket kontrol protokol yang sebenarnya, sehingga siapa pun yang dapat mengirimkan paket ke perangkat SCADA dapat mengendalikannya. Dalam banyak kasus pengguna SCADA berasumsi bahwa VPN adalah perlindungan yang cukup dan tidak menyadari bahwa akses fisik ke SCADA berhubungan dengan jaringan dan *switch jack* menyediakan kemampuan untuk benar-benar memotong keamanan semua pada perangkat lunak kontrol dan sepenuhnya mengontrol jaringan-jaringan SCADA. Jenis-jenis serangan akses fisik melewati *firewall* dan VPN keamanan dan yang terbaik ditangani oleh *endpoint to endpoint* otentikasi dan otorisasi seperti yang biasa diberikan di dunia non-SCADA dengan dalam-perangkat SSL atau teknik kriptografi lainnya. Fungsi handal dari sistem SCADA dalam infrastruktur modern kita mungkin penting untuk kesehatan dan keselamatan masyarakat. Dengan demikian, serangan terhadap sistem ini dapat langsung atau tidak langsung mengancam kesehatan dan keselamatan publik. Seperti serangan telah terjadi, dilakukan pada sistem kontrol *limbah Maroochy Shire Council* di *Queensland,* Australia. Tak lama setelah kontraktor memasang sistem SCADA pada bulan Januari 2000 ada komponen sistem mulai berfungsi tak menentu. Pompa tidak berjalan ketika dibutuhkan dan alarm tidak dilaporkan. Lebih kritis, limbah membanjiri taman terdekat dan terkontaminasi parit drainase permukaan air terbuka dan mengalir 500 meter ke kanal pasang surut. Sistem SCADA adalah mengarahkan katup limbah untuk membuka ketika protokol desain harus telah menyimpannya

tertutup. Awalnya ini diyakini *bug* sistem. Pemantauan sistem log mengungkapkan mal fungsi adalah hasil dari serangan *cyber*. Peneliti melaporkan 46 kasus terpisah dari gangguan luar berbahaya sebelum pelakunya diidentifikasi. Serangan itu dibuat oleh karyawan yang tidak puas dari perusahaan yang telah diinstal sistem SCADA. Karyawan berharap untuk diperkerjakan waktu penuh untuk membantu memecahkan masalah. Banyak vendor SCADA dan produk kontrol telah mulai untuk mengatasi risiko yang ditimbulkan oleh akses yang tidak sah oleh garis mengembangkan *firewall* industri khusus dan solusi VPN untuk TCP/IP berbasis jaringan SCADA serta pemantauan eksternal SCADA dan peralatan rekaman. Selain itu, solusi aplikasi membolehkan akses sedang dilaksanakan karena kemampuan mereka untuk mencegah perubahan aplikasi *malware* dan tidak sah tanpa dampak kinerja *scan* antivirus tradisional. Juga, ISA Keamanan Kepatuhan *Institute* (ISCI) muncul untuk meresmikan SCADA pengujian keamanan mulai sesegera 2009. ISCI secara konseptual mirip dengan pengujian swasta dan sertifikasi yang telah dilakukan oleh vendor sejak tahun 2007. Akhirnya, standar yang ditetapkan oleh ISA99 WG4 akan menggantikan upaya industri konsorsium awal, tapi mungkin tidak sebelum 2011. Peningkatan minat dalam kerentanan SCADA telah mengakibatkan kerentanan peneliti menemukan kerentanan dalam perangkat lunak SCADA komersial dan lebih umum ofensif SCADA teknik disajikan kepada masyarakat keamanan umum. Dalam listrik dan gas utilitas sistem SCADA, kerentanan besar diinstal dasar kabel dan nirkabel *link* komunikasi serial dibahas dalam beberapa kasus dengan menerapkan benjolan di kawat perangkat yang menggunakan *otentikasi* dan enkripsi *Encryption Standard*

Bahan diskusi dan Tugas

[1]. Jelaskan secara singkat konsep ADC dan DAC dan berikan 3 contoh penerapannya
[2]. Jelaskan kelebihan dan kekurangan ADC dan DAC
[3]. Jelaskan elemen elemen penunjang akuisisi data
[4]. Jelaskan konsep sistem kerja SCADA dan contoh penerapannya
[5]. Berikan 3 contoh penerapan akuisisi data yang Anda ketahui dan berikan penjabaran singkatnya

BAB 8

Mikroprosesor

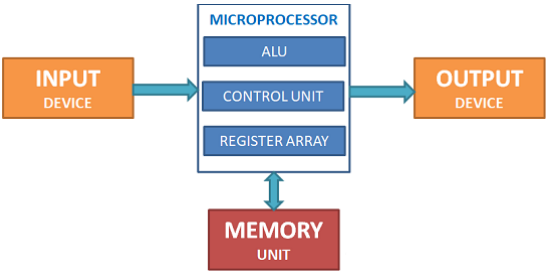
ZUFRI HASRUDY SIREGAR
COGITO ERGO SUM

MIKROPROSESOR

Mikroprosesor adalah sebuah *Chip* IC atau Sirkuit Terintegrasi yang menggabungkan fungsi inti dari unit pemrosesan pusat (CPU/*Central Processing* Unit) komputer. *Chip* IC yang dalam bahasa Inggris ditulis dengan "*Microprocessor*" ini merupakan perangkat multiguna yang dapat diprogram untuk menerima data digital sebagai *input*, memprosesnya sesuai dengan instruksi yang tersimpan dalam memorinya dan memberikan hasil sebagai *output*.

Mikroprosesor berisi logika kombinasional dan logika digital sekuensial yang beroperasi pada angka dan simbol yang diwakili dalam sistem angka biner. Dalam sebuah IC Mikroprosesor, terdapat ALU (unit aritmatika dan logika), unit kontrol, register, sistem bus dan jam (*clock*) untuk melakukan tugas komputasi. *Microprocessor* dapat dikatakan sebagai otak dari semua komputer, baik komputer tersebut berbentuk laptop, desktop maupun server.

Perkembangan Mikroprosesor dapat ditelusuri mulai dari penemuan komponen IC oleh *Fair Child* Semikonduktor pada tahun 1959. Kemudian pada tahun 1968, *Gordan Moore* (ahli kimia), Robert *Noyce* (fisikawan) dan Andrew *Grove* (Investor) mengundurkan diri dari *Fair Child* Semikonduktor dan mendirikan perusahaan mereka sendiri yaitu perusahaan yang kita kenal saat ini, INTEL (*Integrated Electronics*). Pada tahun 1971, mereka berhasil menciptakan mikroprosesor pertama yaitu Intel 4004.

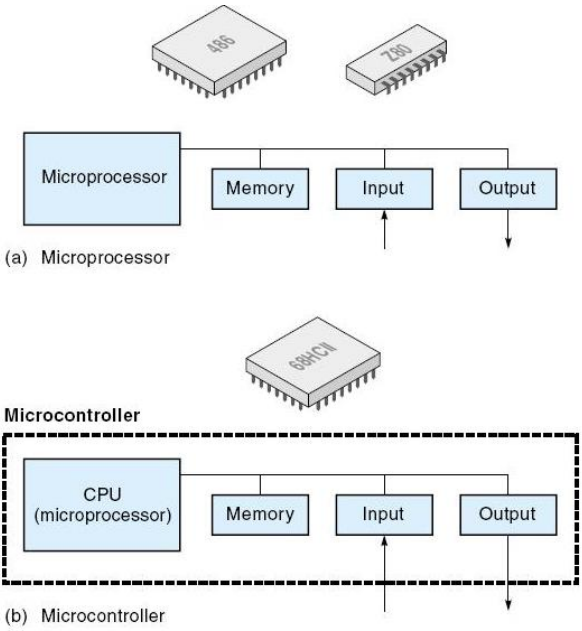


Gambar 192 Mikroprosesor pada Komputer

Rangkaian digital terintegrasi (IC) yang disebut mikroprosesor telah membawa perkembangan baru pada era sistim kendali elektronik. Revolusi besar terjadi disebabkan karena mikroprosesor menyediakan fleksibilitas program kendali dan kemampuan komputasi yang dimiliki oleh komputer untuk memecahkan berbagai masalah. Aplikasi kendali otomatis dapat dikatakan cocok untuk menggunakan keunggulan teknologi ini, sehingga pengendali berbasis mikrokontroler dengan cepat menggantikan sistim-sistim kendali lama yang menggunakan rangkaian rangkaian elektronika analog atau yang menggunakan *relay relay elektromekanik*. Salah satu pengendali berbasis mikrokontroler yang dibuat khusus untuk aplikasi-aplikasi kendali ialah *programmable logic controller* (PLC). Mikroprosesor sendiri bukanlah komputer; karena untuk menjadi satu unit komputer masih diperlukan peranti-peranti tambahan seperti memori dan rangkaian *input/output* agar sistim dapat beroperasi. Mikrokontroler memiliki seluruh fungsi-fungsi yang harus dimiliki oleh suatu komputer dalam suatu unit IC tunggal. Mikrokontroler tidak memiliki kemampuan dan kecepatan proses seperti yang dimiliki oleh mikroprosesor mikroprosesor baru yang ada sekarang ini, namun keringkasannya merupakan hal yang ideal untuk kebanyakan aplikasi aplikasi pengendalian; kebanyakan sistim-sistim ini disebut sebagai peranti yang dikendalikan dengan mikroprosesor (mesin penjual makanan-minuman otomatis), sebenarnya menggunakan mikrokontroler. Alasan khusus dibalik penggunaan suatu sistim digital, rancangan mikroprosesor dalam sistim kontrol adalah hal hal sebagai berikut:

- Tingkat kekuatan sinyal yang kecil dari sensor sensor, setelah dikonversi ke bentuk digital, dapat dikirim ke lokasi lokasi yang jauh tanpa kesalahan penerimaan.
- Mikroprosesor dapat dengan mudah dapat melakukan perhitungan-perhitungan dan juga menjalankan strategi kendali yang rumit.
- Memori jangka panjang tersedia untuk mengamati parameter-parameter pada sistim-sistim yang berubah dengan lambat.
- Perubahan aturan atau strategi kendali dapat dilakukan dengan mudah melalui pemuatan program baru; tidak diperlukan perubahan pada perangkat keras.
- Pengendali-pengendali berbasis mikroprosesor dapat dihubungkan dengan mudah ke jaringan komputer suatu industri. Hal ini memberikan kesempatan kepada para

perancang untuk melakukan perubahan-perubahan program dan memantau status terbaru dari sistim melalui terminal kendali pada meja kerja mereka.



Gambar 193 Mikroprosesor dan Mikrokontroler

Istilah-istilah Umum yang digunakan dalam Mikroprosesor

[1]. BUS adalah seperangkat konduktor yang dimaksudkan untuk mengirimkan data, alamat atau mengontrol informasi ke berbagai elemen dalam mikroprosesor. Biasanya mikroprosesor akan memiliki 3 jenis Bus yaitu Bus Data, Bus Kontrol dan Bus Alamat. Prosesor 8 bit akan menggunakan Bus lebar 8 bit.

[2]. Kelompok Instruksi (INSTRUCTION SET)
Kelompok Instruksi atau *Instruction* Set adalah kelompok perintah yang dapat dipahami oleh mikroprosesor. Jadi Kelompok instruksi adalah antarmuka antara perangkat keras dan perangkat lunak (program). Contohnya, Instruksi memerintahkan prosesor untuk mengganti transistor yang relevan untuk melakukan pemrosesan data. Misalnya. tambahkan A, B; digunakan untuk menambah dua angka yang tersimpan dalam register A dan B.

[3]. Panjang kata (WORD LENGTH)
Panjang kata adalah jumlah bit dalam Bus data internal suatu prosesor atau jumlah bit yang dapat diproses oleh suatu prosesor pada suatu waktu. Misalnya, Prosesor 8-bit akan memiliki bus data 8-bit, register 8-bit dan akan melakukan pemrosesan 8-bit pada suatu waktu. Untuk melakukan operasi bit yang lebih tinggi (32 bit atau 16 bit), Mikroprosesor akan memecahkannya menjadi serangkaian operasi 8 bit.

[4]. CACHE MEMORY
Memori *cache* adalah memori akses acak yang terintegrasi ke dalam prosesor. Jadi prosesor dapat mengakses data dalam memori *cache* lebih cepat daripada dari RAM biasa. Ini juga dikenal sebagai Memori CPU. Memori *cache* digunakan untuk menyimpan data atau instruksi yang sering dirujuk oleh perangkat lunak atau program selama operasi. Sehingga akan meningkatkan kecepatan operasi secara keseluruhan.

[5]. Kecepatan *Clock* (CLOCK SPEED)
Mikroprosesor menggunakan sinyal *Clock* untuk mengontrol laju instruksi yang dijalankan, menyinkronkan komponen internal lainnya dan untuk mengendalikan transfer data di antara mereka. Jadi *clock speed* mengacu pada kecepatan di mana mikroprosesor menjalankan instruksi. Biasanya diukur dalam Hertz dan dinyatakan dalam megahertz (MHz), gigahertz (GHz) dan lain lainnya.

Keunggulan-keunggulan Mikroprosesor

[1]. Biaya rendah (*Low Cost*) Mikroprosesor tersedia dengan biaya rendah karena dikemas dalam teknologi sirkuit terintegrasi (*chip* IC). Dengan demikian, biaya sistem komputer akan menjadi lebih rendah dan terjangkau.
[2]. Kecepatan tinggi *Chip* mikroprosesor dapat bekerja pada kecepatan sangat tinggi karena teknologi yang terlibat di dalamnya. Mikroprosesor mampu menjalankan jutaan instruksi per detik.
[3]. Ukuran kecil Karena teknologi integrasi skala sangat besar dan skala ultra besar, mikroprosesor dapat dibuat dalam ukuran

yang sangat kecil sehingga akan mengurangi ukuran seluruh sistem komputer.

[4]. Serba guna (*Versatile*) Mikroprosesor sangat fleksibel, *chip* yang sama dapat digunakan untuk sejumlah aplikasi hanya dengan mengubah program (instruksi yang disimpan dalam memori).

[5]. Konsumsi Daya Rendah Mikroprosesor biasanya diproduksi menggunakan teknologi semikonduktor oksida logam (metal *oxide semiconductor*) yaitu MOSFET (Metal *Oxide Semiconductor Field Effect* Transistor) yang bekerja dalam mode saturasi dan mode cut *off* sehingga daya yang dikonsumsi menjadi sangat rendah dibandingkan dengan yang lainnya.

[6]. Tidak Menghasilkan Panas yang berlebihan Mikroprosesor tidak menghasilkan panas yang berlebihan apabila dibandingkan dengan perangkat tabung vakum.

[7]. Andal (*Reliable*) Mikroprosesor sangat andal, tingkat kegagalan sangat sedikit karena teknologi semikonduktor digunakan.

[8]. *Portable*, Perangkat atau sistem komputer yang dibuat dengan mikroprosesor dapat dibuat portabel karena ukurannya yang kecil dan konsumsi daya yang rendah.

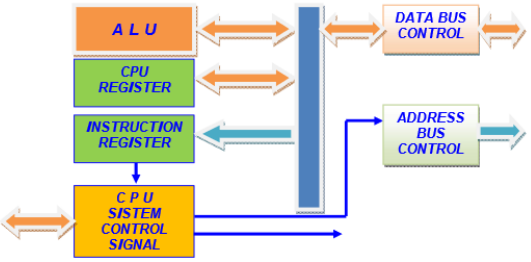
Arsitektur Mikroprosesor

Arsitektur mikroprosesor biasanya berkaitan dengan bangunan, rancangan atau desain sebuah mikroprosesor. Desain sebuah *mikroprosesor* dengan ciri ciri pokok yang sering disebut dengan *features* sebuah mikroprosesor dapat dipelajari dengan baik melalui Internal *Software* Hardware Design. Pemahaman dan pengkajian mendalam terhadap rancangan *software* dan *hardware* yang disebut juga dengan istilah arsitektur akan sangat membantu dalam pemrograman mikroprosesor. Arsitektur sebuah mikroprosesor menunjukkan rancangan tentang perangkat lunak dan perangkat keras yang terpadu menjadi satu. Rancangan perangkat lunak dan perangkat keras sebuah mikroprosesor dikembangkan secara simultan sebelum sebuah mikroprosesor diproduksi. Arsitektur perangkat lunak mikroprosesor disebut juga dengan set instruksi. Setiap mikroprosesor memiliki set instruksi tersendiri yang terdiri dari sejumlah instruksi yang dapat bekerja di dalam perangkat keras mikroprosesor. Internal *software design* berkaitan dengan bentuk atau rancangan set instruksi (*instruction* set) yang digunakan. Set

instruksi sebuah *mrikroprosesor* dibangun dan dikembangkan bersamaan dengan pengembangan rancangan perangkat keras mikroprosesornya. Setiap perintah dalam set instruksi harus bekerja pada saat proses *decoding* yang dilakukan oleh perangkat keras mikroprosesor. Disebut internal *software* karena set instruksi berkaitan langsung dengan perangkat keras yang ada di dalam mikroprosesor. Setiap perintah dalam set instruksi dikodekan dalam *heksa* desimal.

Setiap mikroprosesor memiliki kade instruksi yang berbeda beda sesuai dengan yang direncanakan oleh pabrik pembuatnya. Sehingga suatu program yang ditulis dalam kode instruksi untuk mikroprosesor tertentu tidak dapat dijalankan untuk semua jenis mikroprosesor yang lain.

Dalam sebuah Mikroprosesor terdiri dari bagian bagian yang satu dengan yang lain saling melengkapi dan mendukung dalam memproses serta menerjemahkan berbagai macam instruksi yang diberikan kepadanya untuk selanjutnya dikerjakan kemudian setiap menerima instruksi selanjutnya. Susunan dari bagian bagian tersebut dikenal sebagai rancang bangun dari sebuah mikroprosesor (Mikroprosesor *Architectur*). Untuk mikroprosesor tipe Z80 memiliki rancang bangun seperti terlihat pada Gambar 194



Gambar 194 Arsitektur mikroprosessor

CPU Register

Pada bagian ini terdiri dari register *register* yang dapat dipakai secara umum (*general purpose* register) yang dapat diakses secara langsung dan register *register* yang dipakai secara khusus (*special purpose* register). Pada mikroprosesor Z80 memiliki 22 buah register yang terdiri dari tiga grup.

Instruction Register

Pada bagian ini berfungsi untuk menerjemahkan kode kode biner tertentu yang masuk melalui data bus diubah menjadi instruksi instruksi yang dapat dimengerti dan dapat diolah pada unit pengolah pusat (CPU) dan selanjutnya juga akan mengendalikan bagian bagian terkait yang terdapat dalam mikroprosesor Z8 misalnya *addres* bus, data bus, *control* bus register *register* dan lain lainnya melalui CPU *Control Signal* System

CPU Control Signal System

Pada bagian ini berfungsi untuk memberikan sinyal sinyal kendali pada bagian bagian yang terkait sehingga segala kendali baik secara *hardwer* maupun *softwer* dapat dikendalikan lewat *control signal system* dengan cara memberikan suatu level sinyal logika untuk dapat mengaktifkan bagian bagian yang terkait. Misalnya saluran reset diberikan logik 0 (diaktifkan), maka bagian *control signal system* ini akan mereset isi register PC dan isinya akan disalurkan saluran alamat, saluran data akan difungsikan sebagai masukan untuk dapat menerima data instruksi dari perangkat memori, sebaliknya jika ada instruksi yang berhubungan dengan alamat, maka isi PC akan diset sesuai dengan instruksi kemudian akan disalurkan ke saluran alamat dapat digunakan oleh instruksi selanjutnya.

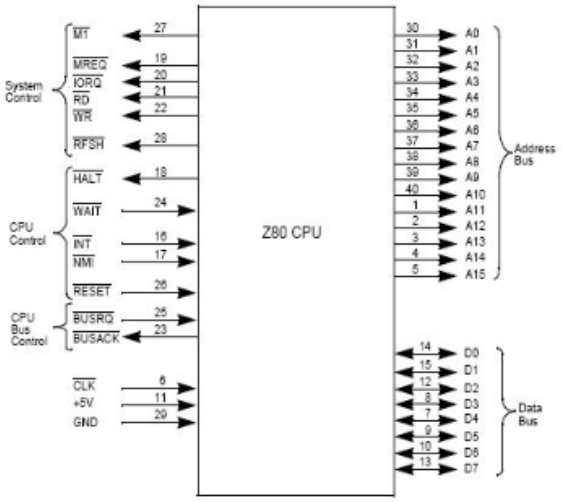
Data Bus Control

Pada bagian ini berfungsi untuk mengendalikan saluran saluran data sebanyak 8 bit sesuai dengan sinyal kendali dari CPU *control signal*. Saluran bus data dapat berfungsi sebagai saluran masukan (*Input*), saluran keluaran (*output*) dan dapat juga dalam keadaan *floating* (*berimpedansi* tinggi)

Address Bus Control

Pada bagian ini berfungsi untuk mengendalikan saluran saluran alamat sebanyak 16 bit untuk digunakan dalam pengalamatan perangkat perangkat memori, perangkat *input* output dan sebagainya.

Konfigurasi penyemat pada mikroprosesor Z80 Chip mikroprosesor Z80 dikemas dalam berbagai tipe, untuk tipe DIP 40 (*dual* in *line packed*) memiliki konfigurasi penyemat seperti pada Gambar 195



Gambar 195 Konfigurasi pin I/O Z80

- *Address bus*
  Address Bus terdiri dari 16 saluran yang diberikan notasi dari A0-A15 yang merupakan saluran keluaran untuk pengalamatan memori dengan kapasitas sebanyak 65536 *bytes* atau 64 kb
- Data Bus
  Data bus terdiri dari 8 saluran yang diberikan notasi D0-D7, berfungsi untuk saluran lalu lintas data maupun data instruksi dari mikroprosesor dan sebaliknya.
- $\overline{M1}$
  Merupakan saluran sinyal kontrol keluaran yang apabila berlogika 0 menunjukkan bahwa siklus yang sedang berlangsung adalah siklus pengambilan kode operasi dalam pelaksanaan suatu instruksi.

- $\overline{MREG}$
  Singkatan dari memori *request*, merupakan saluran sinyal kontrol keluaran yang apabila berlogika 0 menunjukkan bahwa bus alamat berisi alamat memori untuk pembacaan ataupun penulisan memori.

- $\overline{IORQ}$
  Singkatan dari *input output request*, merupakan saluran keluaran yang apabila berlogika 0 menunjukkan bahwa bus alamat rendah (A0-A7) berisi alamat I/O untuk pembacaan atau

penulisan. Sedangkan bus alamat tinggi (A8-A15) berisi data yang akan dikeluarkan dari akumulator (register A).

- $\overline{RD}$
  Singkatan dari *read* (membaca) sebagai saluran sinyal keluaran yang berfungsi untuk melakukan kendali pada pembacaan memori ataupun perangkat I/O.

- $\overline{WR}$
  Singkatan dari *write* (menulis) sebagai saluran sinyal keluaran yang berfungsi untuk melakukan kendali pada penulisan memori ataupun perangkat I/O.

- $\overline{RFSH}$
  Singkatan dari *refresh* (penyegaran) sebagai sinyal keluaran yang berfungsi untuk memberikan sinyal penyegaran pada memori RAM jenis dinamik

- $\overline{HALT}$
  Merupakan sinyal kontrol keluaran yang akan memberikan level 0 jika instruksi HALT dilaksanakan. pada saat *halt* CPU akan dilaksanakan instruksi NOP (*no operation*).

- $\overline{WAIT}$
  Merupakan sinyal kontrol masukan. Jika pada saluran ini diberikan logik 0, akan memberitahukan pada CPU bahwa data dari memori ataupun perangkat I/O belum siap untuk ditransfer ke saluran bus data.

- $\overline{INT}$
  Merupakan sinyal kontrol masukan. Jika pada saluran ini diberikan logik 0, CPU akan diberitahu bahwa peralatan luar meminta suatu interupsi (sela). Permintaan sela akan ditahan hingga akhir siklus instruksi yang sedang berjalan, dengan syarat bahwa IFF (*interupt flip-flop register* diset) dan saluran BUSRQ sedang tidak diaktifkan.

- $\overline{NMI}$
  Merupakan saluran kontrol masukan. Jika diberi logik 0 akan menyebabkan CPU melaksanakan *routin* dari NMI pada alamat

memori 0066H. Interupsi ini tidak dapat dihalangi baik secara *hardware* maupun *software*.

- $\overline{RESET}$
  Merupakan sinyal kontrol masukan. Jika diberikan logik 0 akan mereset CPU untuk mengisi register PC dengan 0000H dan semua IFF akan *diseble*, Register I dan R diisi 0000H. Semua bus dalam keadaan *floating*. Setelah saluran ini dinonaktifkan kembali maka berarti CPU akan melaksanakan instruksi awal memori seperti ketika sistem dihidupkan pertama kali

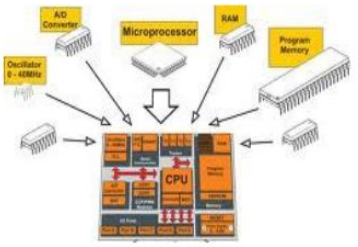
- $\overline{BUSRQ}$
  Merupakan sinyal kontrol masukan. Jika diberikan logic 0, berarti merupakan permintaan untuk saluran saluran bus data, bus saluran alamat dan bus saluran kontrol untuk menjadi *floating* (dalam keadaan impedansi tinggi). Kondisi ini biasanya digunakan untuk *trasfer* data secara langsung antara perangkat perangkat pendukung mikroprosesor, tanpa melalui CPU (DMA = *Direct* Memori *Acses*).

- $\overline{BUSAK}$
  Merupakan sinyal kontrol keluaran yang akan memberikan logik 0 sebagai tanda bahwa saluran bus alamat, saluran bus data dan saluran bus kontrol dalam keadaan *floating*. Jadi saluran ini dapat dijadikan indikator dari aktifitas yang diberikan kepada saluran BUSRQ.

- $\overline{CLK}$
  Merupakan saluran masukan untuk *clock system* yang digunakan oleh mikroprosesor dalam melaksanakan proses pengolahan instruksi. Jadi secara total kecepatan kerja akan ditentukan oleh frekuensi *clock* ini. Besarannya frekuensi untuk mikroprosesor Z 80 adalah 2,5 MHz dan Z80A adalah 4 MHz

Mikrokomputer adalah suatu sistem mikroprosesor, yang minimum terdiri dari *chip* mikroprosesor (CPU: *Central Processing* Unit), ROM (*Read* Only Memori) yang berisi *firmeware* (Program kendali sistem up), RAM (*Random* Access Memori) yang berisi program atau data

sementara, dan Piranti *input output* (I/O *device*) yang berguna untuk komunikasi antara sistem mikroprosesor dengan piranti yang dikendalikan (komunikasi dengan operator/*user*). Sistem tersebut disusun pada suatu PCB (*Printed Circuit Board*)

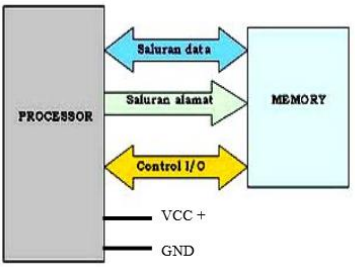


Gambar 196 Mikroprosesor dan komponen menjadi mikrokomputer

Tetapi terdapat beberapa jenis mikroprosesor yang *compatible* satu arah saja, artinya ada program yang dapat dijalankan oleh suatu mikroprosesor dapat dijalankan oleh mikroprosesor yang berbeda, tetapi untuk kebalikannya maka program tersebut tidak dapat jalan. Misalnya tipe mikroprosesor Z80 dapat menjalankan instruksi untuk mikroprosesor 8080 ataupun 8085, program yang menggunakan prosesor 8086 dapat dijalankan oleh prosesor yang lebih tinggi (80186, 80286, 80386, 80486 dan seterusnya) namun tidak dapat program (80186, 80286, 80386, 80486 tidak dapat dijalankan oleh prosesor dibawahnya

Saluran saluran pada Mikroprosessor

Secara fisik mikroprosesor memiliki beberapa saluran masukan maupun keluaran yang digunakan untuk sambungan dengan komponen komponen pendukung sistem mikroprosesor. Saluran saluran tersebut dikelompokkan sebagai berikut:
[1]. Bus saluran Alamat (*Address* Bus)
[2]. Bus saluran Data (Data Bus)
[3]. Bus saluran Kendali (*Control* Bus)



Gambar 197 Saluran pada Mikroprosessor

[1]. Bus Saluran Alamat (*Addres* Bus)

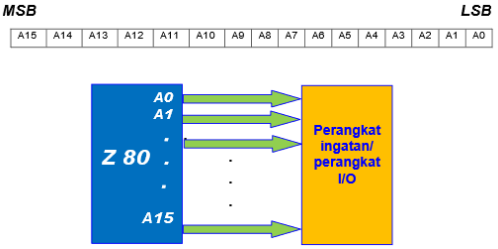
Saluran alamat (*address* bus) diperlukan untuk menentukan suatu lokasi alamat memori maupun lokasi alamat dari perangkat *input/output* (*Input Output Interface*) yang selalu digunakan dalam suatu sistem mikroprosesor itu sendiri, sebab jumlah saluran yang ada langsung menentukan banyaknya alamat memori (kapasitas memori) yang dapat ditanganinya. Pada awal pengembangannya, mikroprosesor buatan Intel dengan tipe 8008 hanya memiliki empat buah saluran alamat, sehingga total alamat memori yang dapat ditanganinya sebanyak 16384 alamat. Setelah mengalami pengembangan selanjutnya sudah mencapai 16 saluran alamat sehingga mampu menangani 65536 alamat memori. Sifat saluran alamat adalah keluaran, sehingga kendali dilakukan dari mikroprosesor menuju ke perangkat perangkat ingatan maupun perangkat perangkat keluaran/masukan (*input output peripheral*)

Memori Address
Pada mikroprosesor buatan Zilog dengan tipe Z80 juga memiliki kapasitas memori sebesar 64 *kbyte*. Pada saat sekarang sebuah mikroprosesor sudah mampu menangani memori lebih besar dari 1 Giga *byte*. Untuk mempermudah serta menyederhanakan dalam pengaturan maupun penyambungan pada perangkat pendukung mikroprosesor, maka pengalamatannya menggunakan sistem bilangan biner. Sehingga jumlah penyemat (pin) pada IC menjadi jauh lebih sedikit. Untuk menentukan jumlah total alamat/kapasitas memori yang dapat ditangani oleh suatu mikroprosesor adalah dengan cara menggunakan rumus sebagai berikut:
Jumlah total alamat = 20 dimana n = jumlah saluran alamat. Jadi misalkan suatu mikroprosesor memiliki jumlah penyemat 16 saluran, maka kapasitas total alamat memori yang dapat ditangani

oleh mikroprosesor tersebut adalah 2^{16} = 65536 *byte*, sedangkan untuk mencari jumlah saluran dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

Jumlah saluran alamat = 2log jumlah total memori

Penyemat saluran alamat pada suatu mikroprosesor pada umumnya diberi tanda dengan huruf A, oleh karena jumlah saluran alamat ada 16 buah dan masing masing saluran memiliki bobot yang berbeda, maka saluran alamat yang berbobot paling rendah (*least significant* bit, LSB) diberi tanda A0 dan selanjutnya urut hingga saluran terakhir yang memiliki bobot terbesar (mos *significant* bit, MSB) diberi tanda A15. dengan demikian saluran alamat yang terdapat pada mikroprosesor tipe Z80 yang berjumlah 16 buah saluran, masing masing diberi tanda A0, A1, A2, A3, A4, A5, A6, …A15. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada blok berikut:



Gambar 198 Diagram Koneksi *addres* bus dengan perangkat I/O

Bobot nilai pada masing masing saluran alamat dapat ditentukan dengan cara menggunakan seperti menentukan bobot nilai posisi bit yang terdapat pada sistem bilangan biner.

A0 bobotnya = 2^0 = 1 alamat
A1 bobotnya = 2^1 = 2 alamat
A2 bobotnya = 2^2 = 4 alamat
A3 bobotnya = 2^3 = 8 alamat
A4 bobotnya = 2^4 = 16 alamat
A5 bobotnya = 2^5 = 32 alamat
A6 bobotnya = 2^6 = 64 alamat
A7 bobotnya = 2^7 = 128 alamat
A8 bobotnya = 2^8 = 256 alamat
A9 bobotnya = 2^9 = 512 alamat
A10 bobotnya = 2^{10} = 1024 alamat
A11 bobotnya = 2^{11} = 2048 alamat
A12 bobotnya = 2^{12} = 4096 alamat
A13 bobotnya = 2^{13} = 8192 alamat
A14 bobotnya = 2^{14} = 16384 alamat

A15 bobotnya = 2^{15} = 32768 alamat

Jumlah total adalah = 65535 + alamat 0 = 65536 alamat. Dengan demikian nomor alamat pada mikroprosesor Z80 dengan menggunakan besaran sistem bilangan desimal adalah dari alamat 0 sampai dengan 65535. Dari uraian diatas dapat digunakan untuk menentukan lokasi suatu alamat memori ataupun alamat perangkat *input output* yang akan disambungkan pada sebuah mikroprosesor. Pengalamatan pada sebuah mikroprosesor umumnya dengan mengaktifkan jalur alamat dengan memberikan suatu instruksi yang mampu mengondisikan logika yang sesuai dengan besaran kode biner sebanyak 16 bit. Untuk mempersingkat serta untuk mempermudah penandaan nomor alamat awal sampai dengan akhir adalah dengan cara menggunakan kode *hexadesimal*. Dengan demikian alamat untuk CPU Z80 terdiri dari 0000 sampai dengan FFFF. Keuntungan menggunakan kode *hexa* desimal adalah kemudahannya untuk diubah kembali dalam kode biner atau sebaliknya. Pengaturan penggunaan alamat memori dilakukan oleh pemakai berdasarkan instruksi yang diberikan dan alokasi pemasangan perangkat memaori yang digunakan dalam sistem dalam batasan 0000-FFFF. Selain itu yang perlu diingat bahwa pada saat kondisi awal catu daya dihidupkan) atau setelah tombol reset ditekan, mikroprosesor akan selalu memulai pada alamat 0000, sehingga instruksi yang berada pada alamat tersebut akan selalu dilaksanakan dahulu

I/O Address

Selain terdapat alamat alamat yang dapat digunakan untuk menghubungi perangkat ingatan, pada CPU Z80 juga memiliki alamat alamat yang digunakan untuk keperluan penanganan perangkat-perangkat I/O sebanyak 256 alamat. Sebagaimana pengaturan alamat pada sistem ingatan, maka alamat I/O ditangani oleh *address* bus bagian bawah (A0 sampai A7) sebanyak 8 saluran. Dalam kode heksadesimal alamat I/O adalah 00-FF. Sedangkan *address* bus bagian atas (A8-A15) digunakan untuk *buffer* (penyangga) data. Jadi pada *address* bus memiliki fungsi ganda sebagai alamat ingatan dan alamat masukan atau keluaran.

[2]. Bus Saluran Data (Data Bus)

Data bus (saluran data) diperlukan sebagai jalan masukan atau keluaran data yang berfungsi sebagai instruksi atau penyerta instruksi antara perangkat ingatan dan perangkat I/O dengan CPU.

Untuk mikroprosesor Z80 memiliki 8 buah saluran data (D0-D7) atau 8 bit data. Sifat dari saluran data adalah dua arah (*bidirectional*), jadi arahnya dapat bolak balik antara mikroprosesor dengan perangkat ingatan maupun perangkat masukan keluaran. Dalam sistem mikrokomputer, data bus dipakai bersama sama antara CPU dengan perangkat perangkat lainnya agar pengawatan menjadi lebih praktis, sehingga cara penyambungannya secara paralel. Untuk menghindari terjadinya konflik data antara perangkat satu dengan yang lainnya maka berlaku sistem bergantian dan *stanby* atau kalau perlu keadaan tersebut dapat diatur melalui CPU lewat saluran kendali bus

[3]. *Control* Bus

Saluran kendali (*Control* Bus) digunakan untuk melakukan pengendalian terhadap komponen komponen pendukung dalam sistem mikroprosesor. Semua aktivitas lalu lintas data maupun pengambilan instruksi ke perangkat ingatan, perangkat keluaran masukan dan lain lainnya diatur dan dikendalikan lewat saluran kendali tersebut. Pada mikroprosesor saluran saluran kendali ada dua kelompok yaitu:

- Saluran kendali yang bersifat keluaran, artinya suatu pengendalian yang arahnya dari mikroprosesor menuju ke perangkat pendukung (perangkat ingatan, I/O, dekoder dan lain lainnya)
- Saluran kendali yang bersifat masukan artinya suatu pengendalian yang arahnya dari perangkat luar mikroprosesor menuju ke mikroprosesor tersebut.

Untuk memperoleh unjuk kerja yang optimal serta dapat dihubungkan dengan perangkat perangkat digital yang lain, maka saluran saluran yang terdapat pada mikroprosesor harus memiliki sifat sifat atau karakteristik tertentu yang cocok dengan perangkat perangkat pendukung lainnya. Adapun sifat sifat saluran sebagai berikut:

- Kompatibel dengan sistem TTL, yaitu menyangkut level tegangan maupun arus pada kondisi logik 0 dan 1 adalah sesuai dengan sistem TTL. Dengan demikian dapat langsung dihubungkan dengan gerbang gerbang TTL baik sebagai keluaran maupun sebagai masukan dalam batasan unit *load* nya (diperhitungkan kemampuan *Fan* In dan *Fan Outnya*).

- Bersifat *three state* yaitu dalam keadaan menunggu (sifat saluran selain dalam keadaan logik 0 atau logik 1) akan memiliki nilai impedansi yang tinggi terutama pada saluran yang bersifat dua arah, sehingga akan sangat menghemat serta menyederhanakan sistem pengawatan dengan komponen komponen yang lain karena lalu lintas data tidak diperlukan pergantian saluran sehingga penyambungannya dapat diparalelkan.

Memori

Memori merupakan sumber daya yang bersangkutan dengan ruang atau letak selain sebagai pengingat, memori juga bertindak selaku penyimpan (*storage*). Ada isi memori yang sudah bersifat tetap, sehingga tidak dapat diubah lagi, ada juga memori yang tidak bersifat tetap. Keluasan ruang memori menyebabkan pencarian pencarian bagian atau letak memori tertentu menjadi tidak mudah. Berdasarkan atas keperluan penyimpanan informasi, dikenal adanya alamat memori mutlak atau alamat memori fisik. Berdasarkan atas kemudahan tata olah, dikenal adanya alamat memori relatif atau alamat memori logika. Pada memori kerja, alamat mutlak adalah alamat fisik pada memori kerja, sedangkan alamat relatif adalah alamat memori yang secara tidak langsung Menunjuk ke salah satu sel pada memori kerja

.

Jenis jenis memori

Setiap program dan data yang sedang diproses oleh prosesor akan disimpan di dalam memori fisik. Data yang disimpan dalam memori fisik bersifat sementara, karena data yang disimpan di dalamnya akan tersimpan selama masih dialiri daya listrik. Ketika sumber daya listrik dimatikan atau direset, data yang disimpan dalam memori fisik akan hilang. Memori biasa dibedakan menjadi dua macam: ROM dan RAM. Selain itu, terdapat pula memori yang disebut *Cache Memory*

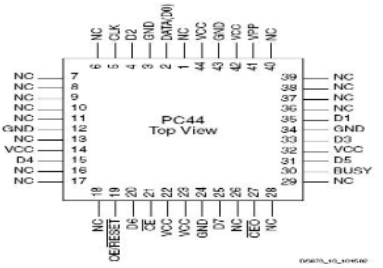
[1]. ROM

ROM adalah singkatan dari *Read* Only *Memory*, yaitu perangkat keras berupa chip memori semikonduktor yang isinya hanya dapat dibaca Jenis memori ini datanya hanya bisa dibaca dan tidak bisa ditulis secara berulang ulang. Memori ini berjenis non

volatile ,artinya data yang disimpan tidak mudah menguap (hilang) walaupun catu dayanya dimatikan. Karena itu memori ini biasa digunakan untuk menyimpan program utama dari suatu sistem, sehingga lebih aman karena tidak takut datanya hilang di tengah jalan.

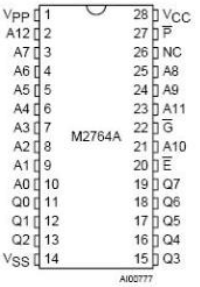
Sampai sekarang dikenal beberapa jenis ROM yang pernah beredar dan terpasang pada komputer, antara lain PROM, EPROM dan EEPROM

a. PROM (*Progammable Read-OnlyMemory*)
Jika isi ROM ditentukan oleh vendor, PROM dijual dalam keadaan kosong dan kemudian dapat diisi dengan program oleh pemakai. Setelah diisi dengan program isi PROM tak bisa dihapus.



Gambar 199 Koneksi PROM PC44

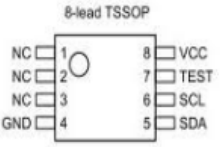
b. EPROM (*Erasable Programmable Read* Only *Memory*)
Berbeda dengan PROM, isi EPROM dapat dihapus setelah diprogram, penghapusan dilakukan dengan menggunakan sinar ultraviolet



Gambar 200 Koneksi EPROM 2764

c. EEPROM (*Electrically Erasable Programmable Read* Only *Memory*)

EEPROM dapat menyimpan data secara permanen, tetapi isinya masih bias dihapus secara elektris melalui program. Salah satu jenis EEPROM adalah *Flash Memory*, ini bias digunakan pada kamera digital, konsol video game, dan chip BIOS



Gambar 201 Serial EEPROM AT24C01

[2]. RAM

RAM merupakan perangkat keras berupa chip memori semikonduktor yang sifat memorinya dapat dibaca dan ditulisi. Jenis memori ini data yang disimpan bisa hilang di tengah proses karena sifat memori ini adalah berjenis volatil, artinya data yang disimpan akan hilang (menguap) jika catu dayanya dimatikan Berdasarkan cara kerja dari RAM, maka terdapat dua jenis RAM yaitu statis dan dinamik. RAM dinamik tersusun oleh sel sel yang menyimpan data sebagai muatan Iistrik pada kapasitor. Untuk Dynamics RAM (DRAM) dapat dikategorikan dalam beberapa tipe, diantaranya adalah

- Fast Page Mode DRAM (FPM DRAM)
- Extended Data Output DRAM (EDO DRAM)
- Synchronous DRAM (SDRAM)
- Rambus DRAM (RDRAM)
- Double Data Rate SDRAM (DDR SDRAM)

Sedangkan RAM yang mempunyai fungsi khusus untuk video diantaranya adalah

- Video RAM(VRAM)
- Windows RAM(WRAM)
- Synchronous Graphic RAM (SGRAM)

Untuk RAM statik menyimpan informasinya dengan cara menyimpan nilai nilai biner dari suatu informasi dengan menggunakan konfigurasi gerbang logika flip flop, jenis RAM ini adalah *Static* RAM (SRAM)

.

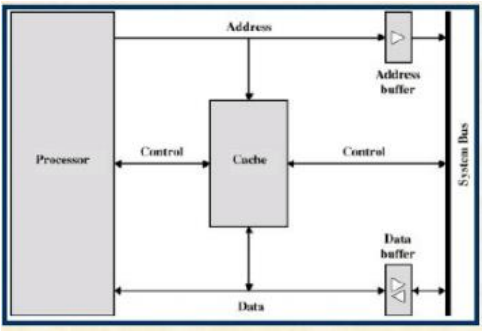
Berdasarkan jenis modul nya dapat dibagi sebagai berikut:

Gambar 202 contoh RAM

- *Sigle Inline Memory Module* (SIMM)
- *Double Inline Memory Module* (DIMM)
- *Rambus Inline Memory Module* (RIMM)

Berdasarkan jumlah pin nya RAM ada yang mempunyai 30 pin, 72 pin, dan 168 pin, sedangkan untuk kecepatannya sudah mencapai nano second. Kecepatan memori utama sangat rendah dibandingkan kecepatan prosessor modern. Untuk performa yang baik, prosessor tidak dapat membuang waktunya dengan menunggu untuk mengakses instruksi dan data pada memori utama. Karenanya sangat penting untuk memikirkan suatu skema yang mengurangi waktu dalam mengakses informasi. Karena kecepatan memori utama dibatasi oleh batasan elektronik dan packaging, maka solusinya harus dicari pada sistem arsitektur yang berbeda

Solusi yang efisien adalah menggunakan memori cache cepat yang sebenarnya membuat memori utama tampak lebih cepat bagi prosesor daripada sebenarnya. Jenis memori ini adalah memori berkapasitas terbatas, berkecepatan tinggi yang lebih mahal dibanding memori utama. Cache memori terletak diantara memori utama dan register CPU, dan berfungsi agar CPU tidak langsung mengacu ke memori utama tetapi di cache memori yang kecepatan aksesnya lebih tinggi. Metode ini akan meningkatkan kinerja system. Buffer berkecepatan tinggi yang digunakan untuk menyimpan data yang diakses pada saat itu dan data yang berdekatan dalam memori utama. Waktu akses memori cachelebih cepat 5 – 10 kali dibandingkan memori utama. Dahulu cache disimpan di luar prosesor dan dapat ditambahkan. Untuk meningkatkan kinerja, saat ini cache ditanamkan di prosesor.



Gambar 203 Organisasi Cache Memori

Sebelum menggunakan memori sebagai penyimpan informasi, perlu dimengerti tentang beberapa karakteritik dari memori tersebut. Memori yang digunakan untuk mendukung kinerja prosesor memiliki beberapa karakteristik yaitu lokasi, kapasitas, satuan transfer, metode akses, kinerja, tipe fisik, karakteristik fisik. Berdasarkan lokasinya memori dapat berlokasi di internal dan eksternal. Memori yang berada di dalam dapat diakses oleh prosesor tanpa melalui input output. Sebagai contoh register, cache memori, dan main memori. Untuk memori eksternal cara mengaksesnya harus melalui peralatan input output. Contohnya adalah hardisk, flasdisk, CDROM.

Kapasitas memori adalah kemampuan memori untuk menyimpan informasi dalam satuan tertentu. Satuan penyimpanan memori adalah byte atau word. Sebagaimana kita ketehaui 1 byte adalah 8 bit, sedangkan untuk word bisa 8, 16, 32 bit, tergantung pada pembuat prosesornya. Satuan transfer untuk memori internal adalah banyaknya bit yang dapat dibaca atau ditulis dari atau ke memori dalam setiap detik. Banyaknya bit tersebut setara dengan banyaknya jalur data yang terhubung ke memori (lebar bus). Biasanya sebanyak satu word tetapi dapat lebih banyak lagi seperti 32, 64 atau 128. Jika memori eksternal digunakan satuan block yang ukuranya lebih dari satu word. Untuk satuan alamat addressable unit adalah ukuran memori terkecil yang dapat diberi alamat tersendiri. Besarnya satuan alamat tergantung pembuat prosesor. Sequential access, akses ke memori dilakukan secara berurutan (searching, passing, rejecting). Mengunakan mekanisme shared

read/write. Waktu akses sangat variabel, bergantung pada lokasi data yang akan dituju dan data sebelumnya. Contoh: Magnetic tape Direct access, akses ke memori langsung menuju ke lokasi terdekat, diteruskan dengan sedikit pencarian dan perhitungan. Setiap blok/record mempunyai alamat unik berdasarkan lokasi fisik. Menggunakan mekanisme shared read/write. Waktu aksesnya variabel (berbeda-beda) dan bergantung pada lokasi data yang akan dituju dan lokasi data sebelumnya. Contoh: hardisk. Random access, akses ke memori dilakukan secara random langsung ke alamat yang dituju. Setiap alamat memori mempunyai alamat unik. Waktu aksesnya konstan dan tidak bergantung pada urutan akses sebelumnya. Contoh: main memory, beberapa sistem cache. Associative, pencarian data di memori dilakukan dengan membandingkan seluruh word secara bersamaan, tidak berdasarkan alamat. Waktu akses konstan dan tidak bergantung pada lokasi dan urutan akses sebelumnya. Contoh: cache memori. Waktu akses (latency), waktu antara perintah akses (baca atau tulis) sampai didapatkannya data di MBR atau data dari MBR telah disalin ke lokasi memori tertentu. Waktu siklus memori, waktu dimulainya suatu operasi memori sampai memori siap melaksanakan operasi berikutnya(lebih penting). Waktu akses ditambah waktu untuk perubahan signal jalur data sebelum akses kedua.Transfer rate, adalah waktu rata-rata perpindahan data. Untuk RAM adalah 1/waktu siklus, sedangkan untuk non-RAM adalah:

$$TN = TA + \frac{N}{R}$$

TN = Waktu rata-rata untuk baca/tulis sejumlah N bit
TA = Rata-rata waktu akses
N = jumlah bit
R = transfer rate (bit per second)

Jika memori ditinjau dari jenis fisik maka memori dapat dikelompokkan menjadi 3, yaitu semikonduktor, megnetik, optic. Contoh untuk semikonduktor adalah RAM, Flasdisk, sedangkan untuk magnetic adalah hardisk, magnetic tape. Untuk yang optic adalah compact disc maupun digital video disk. Berdasarkan

karakteristik fisik, memori dapat dibedakan menjadi 4 hal yaitu volatile, non-volatile, erasable, dan non erasable. Volatile adalah data akan hilang jika sumber listrik dihilangkan, non volatile tidak akan terpengaruh dengan hilangnya sumber listrik, data akan tetap tersimpan. Memori yang bersifat erasable adalah nilainya dapat dihapus seperti semikonduktor dan magnetic, sedangkan yang non-erasable nilainya tidak dapat dihapus seperti ROM.

Metode Pengalamatan

Mode pengalamatan adalah bagaimana cara menunjuk dan mengalamati suatu lokasi memori pada sebuah alamat di mana operand akan diambil. Mode pengalamatan diterapkan pada set instruksi, dimana pada umumnya instruksi terdiri dari opcode (kode operasi) dan alamat. Setiap mode pengalamatan memberikan fleksibilitas khusus yang sangat penting.

[1]. Immediate addressing

Immediate addressing merupakan bentuk pengalamatan yang paling sederhana, ini dikarenakan operand benar benar ada dalam instruksi atau bagian dari instruksi = operand sama dengan field alamat. Selain itu umumnya bilangan akan disimpan dalam bentuk komplemen dua. Bit paling kiri sebagai bit tanda. Ketika operand dimuatkan ke dalam register data, bit tanda digeser ke kiri hingga maksimum word data.

Contoh: MOV A,#20h ; akumulator akan diisi dengan 20h.

Kelebihan
- ❖ Tidak adanya referensi memori selain dari instruksi yang diperlukan untuk memperoleh operand
- ❖ Menghemat siklus instruksi sehingga proses keseluruhan akan cepat

Kekurangan
- ❖ Ukuran bilangan dibatasi oleh ukuran field alamat

[2]. Direct Addresing

Dalam mode pengalamatan direct addressing, harga yang akan dipakai diambil langsung dalam alamat memori lain. Contoh: MOV A,30h. ; akumulator diisi data alamat 30h Dalam instruksi ini akan dibaca data dari RAM internal dengan alamat 30h dan kemudian disimpan dalam akumulator. Mode pengalamatan ini cukup cepat, meskipun harga yang didapat tidak langsung seperti immediate, namun cukup cepat karena disimpan dalam RAM internal. Demikian pula akan lebih mudah menggunakan mode ini daripada mode immediate karena harga yang didapat bisa dari lokasi memori yang mungkin variabel.

Kelebihan

- Field alamat berisi efektif address sebuah operand

Kelemahan

- Keterbatasan field alamat karena panjang field alamat biasanya lebih kecil dibandingkan panjang word

[3]. Indirect Addresing

Mode pengalamatan indirect addressing sangat berguna karena dapat memberikan fleksibilitas tinggi dalam mengalamati suatu harga. Mode ini pula satu-satunya cara untuk mengakses 128 byte lebih dari RAM internal pada keluarga 8052. Contoh: MOV A,@R0 ; isi akumulator data dari R0

Dalam instruksi tersebut, 89C51 akan mengambil harga yang berada pada alamat memori yang ditunjukkan oleh isi dari R0 dan kemudian mengisikannya ke akumulator. Mode pengalamatan indirect addressing selalu merujuk pada RAM internal dan tidak pernah merujuk pada SFR. Karena itu, menggunakan mode ini untuk mengalamati alamat lebih dari 7Fh hanya digunakan untuk keluarga 8052 yang memiliki 256 byte spasi RAM internal.Kelebihan dan kekurangan dari Indirect Addresing antara lain :

Kelebihan

- Ruang bagi alamat menjadi besar sehingga semakin banyak alamat yang dapat referensi

Kekurangan

- ❖ Diperlukan referensi memori ganda dalam satu fetch sehingga memperlambat preoses operasi

[4]. Register Addressing

Register adalah merupakan sebagian memori dari mikro prosessor yang dapat diakses dengan kecepatan tinggi. Metode pengalamatan register ini mirip dengan mode pengalamatan langsung. Perbedaannya terletak pada field alamat yang mengacupada register, bukan pada memori utama. Field yang mereferensi register memiliki panjang 3 atau 4 bit, sehingga dapat mereferensi 8 atau 16 register general purpose.Kelebihan dan kekurangan Register Addressing :

Keuntungan pengalamatan register

- ❖ Diperlukan field alamat berukuran kecil dalam instruksi dan tidak diperlukan referensi memori
- ❖ Akses ke regster lebih cepat daripada akses ke memori, sehingga proses eksekusi akan lebih cepat

Kerugian

- ❖ Ruang alamat menjadi terbatas

[5]. Register Indirect Addressing

Metode pengalamatan register tidak langsung mirip dengan mode pengalamatan tidak langsung Perbedaannya adalah field alamat mengacu pada alamat register. Letak operand berada pada memori yang dituju oleh isi register

Kelebihanan dan kekurangan pengalamatan register tidak langsung adalah sama dengan pengalamatan tidak langsung

- ❖ Keterbatasan field alamat diatasi dengan pengaksesan memori yang tidak langsung sehingga alamat yang dapat direferensi makin banyak
- ❖ Dalam satu siklus pengambilan dan penyimpanan, mode pengalamatan register tidak langsung hanya menggunakan satu referensi memori utama sehingga lebih cepat daripada mode pengalamatan tidak langsung

[6]. Displacement Addressing

Displacement Addressing adalah menggabungkan kemampuan pengalamatan langsung dan pengalamatan registertidak langsung. Mode ini mensyaratkan instruksi memiliki dua buah field alamat, sedikitnya sebuah field yang eksplisit. Fieldeksplisit bernilai A dan field implisit mengarah pada register.Ada tiga model displacement : Relative addressing, Base register addressing, Indexing

Relative addressing

Register yang direferensi secara implisit adalah program counter (PC)

- Alamat efektif relative addresing didapatkan dari alamat instruksi saat itu ditambahkan ke field alamat
- Relativ addressing memanfaatkan konsep lokalitas memori untuk menyediakan operand-operand berikutnya

Base register addresing register yang direferensi berisi sebuah alamat memori, dan field alamat berisi perpindahan dari alamat itu

- Referensi register dapat eksplisit maupun implisit
- Memanfaatkan konsep lokalitas memori

 Indexing adalah field alamat mereferensi alamat memori utama, dan register yang direferensikan berisi pemindahan positif dari alamat tersebut

- Merupakan kebalikan dari mode base register
- Field alamat dianggap sebagai alamat memori dalam indexing
- Manfaat penting dari indexing adalah untuk eksekusi program program iterative

[7]. Stack Addresing

Stack adalah array lokasi yang linier = pushdown list = last-in-first-out. Stack merupakan blok lokasi yang terbalik. Butir ditambakan ke puncak stack sehingga setiap saat blok akan terisisecara parsial. Yang berkaitan dengan stack adalah pointer yang nilainya merupakan alamat bagian paling atas stack. Dua elemen teratas stack dapat berada di dalam register CPU, yang dalam hal ini stack pointer mereferensi ke elemen ketiga stack. Stack pointertetap

berada dalam register. Dengan demikian, referensi referensi ke lokasi stack di dalam memori pada dasarnya merupakan pengalamatan register tidak langsung.

Input Output

Operasi-operasi I/O diperoleh melalui sejumlah perangkat ekternal dengan menggunakan link (fungsinya untuk pertukaran kontrol, status dan data antara modul I/O dengan device eksternalnya). Perangkat eksternal dikategorikan menjadi 3

[1]. Pembacaan di sisi Manusia (Human readable) : perangkat yang berhubungan dengan manusia sebagai pengguna komputer. Contohnya screen, printer, keyboard mouse, printer, joystick, disk drive
[2]. Pembacaan disisi mesin (Machine readable) : perangkat yang berhubungan dengan peralatan. Biasanya berupa modul sensor dan tranduser untuk monitoring dan kontrol suatu peralatan atau sistem. Contohnya untuk monitoring dan control.
[3]. Komunikasi (memungkinkan komputer untuk salingbertukar data dengan perangkat jarak jauh). Contohnya Modem, Network Interface Card (NIC).

Pengklasifikasian juga bisa berdasarkan arah datanya, yaitu perangkat output, perangkat input dan kombinasi output-input. Contoh perangkat output: monitor, proyektor dan printer. Perangkat input misalnya: keyboard, mouse, joystick, scanner, mark reader, bar code reader.

I/O Modul

Input /output module adalah interface atau central switch untuk mengendalikan satu atau lebih peripheral atau perangkat input output. Sedangkan konektor mekanis berisi fungsi logik untukkomunikasi antara bus dan peripheral. Modul I/O memiliki dua buah fungsi utama, yaitu :

[1]. Sebagai piranti antarmuka ke CPU dan memori melalui bus sistem.

[2]. Sebagai piranti antarmuka dengan peralatan peripheral lainnya dengan menggunakan link data tertentu.

Fungsi I/O Modul yaitu:

[1]. Control & Timing,

fungsi kontrol dan pewaktuan (control & timing) merupakan hal yang penting untuk mensinkronkan kerja masing masing komponen penyusun komputer. Dalam sekali waktu CPU berkomunikasi dengan satu atau lebih perangkat dengan pola tidak menentu dan kecepatan transfer komunikasi data yang beragam, baik dengan perangkat internal seperti register register, memori utama, memori sekunder, perangkat peripheral. Proses tersebut bisa berjalan apabila ada fungsi kontrol dan pewaktuan yang mengatur sistem secara keseluruhan. Transfer data tidak akan lepas dari penggunaan sistem bus, maka interaksi CPU dan modul I/O akan melibatkan kontrol dan pewaktuan sebuah arbitrasi bus atau lebih.

[2]. Komunikasi CPU

Adapun fungsi komunikasi antara CPU dan modul I/O meliputi proses - proses berikut :

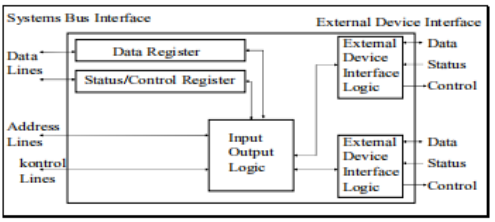
- Command Decoding, yaitu modul I/O menerima perintah perintah dari CPU yang dikirimkan sebagai sinyal bagi bus kontrol. Misalnya, sebuah modul I/O untuk disk dapat menerima perintah: Read sector,Scan record ID, Format disk
- Data, pertukaran data antara CPU dan modul I/O melalui bus data
- Status Reporting, yaitu pelaporan kondisi status modul I/O maupun perangkat peripheral, umumnya berupa status kondisi Busy atau Ready. Juga status bermacam macam kondisi kesalahan (error)
- Address Recognition, bahwa peralatan atau komponen penyusun komputer dapat dihubungi atau dipanggil maka harus memiliki alamat yang unik, begitu pula pada perangkat peripheral, sehingga setiap modul I/O harus mengetahui alamat peripheral yang dikontrolnya.

[3]. Komunikasi perangkat (Device Communication) meliputi perintah, informasi status dan data

[4]. Data Buffering, tujuan utama buffering adalah mendapatkan penyesuaian data sehubungan perbedaan laju transfer data dari perangkat peripheral dengan kecepatan pengolahan pada CPU. Umumnya laju transfer data dari perangkat

peripheral lebih lambat dari kecepatan CPU maupun media penyimpan.

[5]. Deteksi Error, apabila pada perangkat peripheral terdapat masalah sehingga proses tidak dapat dijalankan, maka modul I/O akan melaporkan kesalahan tersebut. Misal informasi kesalahan pada peripheral printer seperti: kertas tergulung, pinta habis, kertas habis. Teknik yang umum untuk deteksi kesalahan adalah penggunaan bit paritas.Antarmuka modul I/O ke CPU melalui bus sistem komputer terdapat tiga saluran, yaitu saluran data, saluran alamat dan saluran kontrol. Bagian terpenting adalah blok logika I/O yang berhubungan dengan semua peralatan antarmuka peripheral, terdapat fungsi pengaturan dan switching pada blok ini



Gambar 204 blok struktur modul I/O

Interupsi dan Polling

Dalam prosesnya ada beberapa variable yang bisa diukur menggunakan sonsor dan tranduser, yaitu sinyal analog yang di dapat dari tranduser lalu dirubah ke dalam bentuk digital dengan ADC (Analog to digital converter) yang dapat dibaca oleh computer. Dalam proses tersebut umumnya membutuhkan waktu konversi yang lama bila dibandingkan dengan kecepatan mikroprosesor sewaktu menproses suatu perintah. Dalam waktu konversi, data masing dalam proses, sehingga mikroprosessor harus menunggu sampai konversi selesai. Waktu yang tersedia dalam menunggu itu dapat dimanfaatkan untuk perintah lain pada mikroprosesor untuk mengerjakan yang lain sembari menunggu proses sebelumnya selesai. Data hasil konversi tersebut terdapat 2 kemungkinan yaitu Polling dan interupsi

[1]. Interupsi

Metode ini, menggunakan pin INTR atau NMI yang dibahas sebelumnya yang digunakan untuk menginterupsi kerja mikroprosesor. Komputer dibiarkan melakukan pekerjaan yang telah diprogramkan tanpa harus memeriksa setiap ADC apakah data telah siap atau belum. Ketika data telah tersedia, sinyal yang menandakannya pada ADC dimanfaatkan untuk mengaktifkan sinyal INTR atau NMI sehingga komputer menghentikan apa yang sedang dikerjakannya pada saat itu. Kemudian komputer mengambil data hasil konversi dan kemudian meneruskan kembali pekerjaannya yang tadi diinterupsi. Keuntungan cara ini adalah komputer dapat lebih efisien dalam memanfaatkan waktu serta pada program utamanya tidak perlu merisaukan untuk memeriksa piranti luar setiap saat. Sedangkan kekurangannya adalah diperlukan koneksi secara khusus dengan piranti yang dipakai serta pemrograman yang lebih kompleks untuk menangani interupsi. Perlu diketahui bahwa interupsi oleh suatu piranti dapat muncul kapan saja, waktunya tidak dapat ditentukan sebelumnya. Demikian juga urutan interupsi tidak mesti urut dari suatu piranti ke piranti berikutnya. Pada kenyataanya kebanyakan piranti bekerja menggunakan sistem interupsi untuk memberitahukan ketersediaan data untuk ditransfer ke mikroprosesor, misalnya: keyboard, mouse, printer, kartu suara, modem.

[2]. Polling

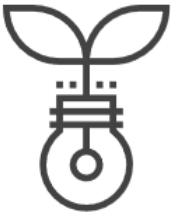
Metode ini yaitu, komputer diprogram untuk secara berkala dan bergiliran memeriksa apakah konversi telah selesai dan data di ADC telah tersedia. Biasanya dilakukan dengan cara memeriksa salah satu sinyal atau pin yang ada di ADC yang menandakan bahwa data hasil konversi telah siap. Apabila sinyal tersebut sudah aktif maka data diambil oleh mikroprosesor, sedangkan bila belum aktif maka akan dibiarkan saja oleh mikroprosesor. Kemudian komputer memeriksa ADC berikutnya dan melakukan hal yang sama. Keuntungan cara polling adalah program yang diperlukan dan prinsip kerjanya relatif lebih sederhana, tidak memerlukan koneksi khusus dengan ADC yang dipakai. Sedangkan kekurangannya adalah kalau konversinya lambat maka seringkali komputer mendapati data belum tersedia ketika memeriksa sebuah ADC, sehingga dapat dikatakan banyak pekerjaan yang sia sia.

Bahan diskusi dan Tugas

1. Jelaskan perbedaan NMOS dan CMOS
2. Jelaskan perbedaan teknologi bipolar dan unipolar
3. Sebutkan secara rici saluran saluran yang terdapat pada mikroprosesor
4. Jelaskan teknis pemuatan informasi ke dalam memori
5. Apa yang dimaksud dengan Volatile dan non volatile pada memori
6. Sebutkan dan jelaskan jenis jenis mode pengalamatan mikroprosesor
7. Jelaskan fungsi input output module

BAB 9

Mikrokontroler



MAWARDI

knowledge exists in knowing that you know nothing

MIKROKONTROLER

Istilah mikrokontroler berasal dari *microcontroller* yang berarti pengendali mikro. Disebut sebagai pengendali mikro karena mikrokontroler secara fisik adalah sebuah keping kecil (*microchip*) yang merupakan komponen elektronika terintegrasi, dan dalam aplikasinya mikrokontroler berfungsi untuk mengendalikan sebuah pekerjaan tertentu secara terprogram. Mikrokontroler adalah *single chip* komputer yang memiliki kemampuan untuk diprogram dan digunakan untuk tugas tugas yang berorientasi kendali (*control*). Mikrokontroler muncul dengan dua alasan utama, yaitu kebutuhan pasar (*market need*) dan perkembangan teknologi baru (*expansion of technology*). Yang dimaksud dengan kebutuhan pasar adalah kebutuhan yang luas dari produk produk elektronik akan perangkat pintar sebagai pengendali dan pemroses data. Sedangkan yang dimaksud dengan perkembangan teknologi baru adalah perkembangan teknologi semikonduktor yang memungkinkan pembuatan *chip* dengan kemampuan komputasi yang sangat cepat, bentuk yang semakin kecil, dan harga yang semakin murah (*smart*, *small*, *and cheap*).

Sejarah Mikrokontroler

Sejarah mikrokontroler tidak terlepas dari sejarah mikroprosesor dan komputer. Diawali dengan ditemukannya mikroprosesor, kemudian ditemukan komputer, setelah itu ditemukan mikrokontroller. Berikut ini sejarah mikrokontroler:

[1]. Tahun 1617, John napier menemukan sistem untuk melakukan perkalian dan pembagian berdasarkan logaritma.
[2]. Tahun 1694, Gottfriend Wilhelm Leibniz membuat mesin mekanik yang dapat melakukan operasi +, -, * , / dan akar kuadrat.
[3]. Tahun 1835, Charles Babbage mengusulkan komputer digital (Digital *Computer*) pertama didunia menggunakan *punched card* untuk data dan instruksi, serta program kontrol (*looping and branching*) dengan unit aritmatik dan unik penyimpanan

Gambar 205 IC Mikrokontroler

[4]. Tahun 1850, George Boole mengembangkan *symbolic logic* termasuk operasi *binary* (AND, OR, dll)

[5]. Tahun 1946, Von Neumann menyarankan bahwa instruksi menjadi kode numerik yang disimpan pada memori. Komputer dan semua mikrokontroler didasarkan pada komputer Von neumann.

[6]. Tahun 1948, ditemukannya transistor, dengan dikembangkannya konsep *software* ,pada tahun 1948 mulai adanya perkembangan *hardware* penting seperti transistor

[7]. Tahun 1959, pertama kali dibuatnya IC (*Integrated Circuit*)

[8]. Tahun 1971,intel membuat mikroprosesor intel 4004.mikroprosesor ini merupakan mikroprosesor pertama yang dikembangkan oleh intel (*Integrated* Electronics). Mikroprosesor ini terdiri dari 2250 transistor. Intel 4004 merupakan mikroprosesor 4 bit. Kemudian pada tahun 1974, intel membuat mikroprosesor generasi kedua (intel 8008), intel 8008 merupakan mikroprosesor 8 bit. Semakin besar ukuran bit berarti mikroprosesor dapat memproses lebih banyak data. IC mikroprosesor intel 4004 dan intel 8008 ini dikemas dalam bentuk DIP (*Dual Inline Package*) seperti pada gambar dibawah ini

[9]. Tahun 1972, Mikrokontroler yang dibuat adalah TMS 1000. TMS 1000 merupakan mikrokontroler 4-bit buatan Texas Instrument (TI). Mikrokontroler TMS 1000 dibuat oleh Gary Boone dari Texas Intrumen. Boone merancang IC yang dapat menampumg hampir semua komponen yang membentuk kalkulator, hanya layar dan keypad yang tidak dimasukkan. TI menawarkan mikrokontroler ini untuk dijual kepada industri elektronik pada tahun 1983, sebanyak 100 juta IC mikrokontroler TMS 1000 telah dijual

[10].Tahun 1974, beberapa pabrikan IC menawarkan mikroprosesor dan pengendali menggunakan mikroprosesor. Mikroprosesor yang ditawarkan pada saat

itu yaitu Intel 8080, 8085, Motorola 6800, Signetics 6502, Zilog Z80, Texas Instrumen 9900 (16 bit)

[11].Tahun 1975, mikrokontroler PIC dikembangkan dan dibuat pertama kali di Universitas Harvard. PIC mulai diperkenalkan kepada publik oleh Microchip pada tahun 1985. PIC merupakan kependekan dari Peripheral Interface Controller atau bisa juga kependekan dari Programmable Intelligent Computer.

[12].Tahun 1976, dibuat Intel 8048, yang merupakan mikrokontroler intel pertama

[13].Tahun 1978, mikroprosesor 16 bit menjadi lebih umum digunakan yaitu Intel 8086, Motorola 68000 dan Zilog Z8000. Sejak saat itu pabrikan mikroprosesor terus mengembangkan mikroprosesor dengan berbagai keistimewaan dan arsitektur. Mikroprosesor yang dikembangkan termasuk mikroprosesor 32 bit seperti Intel Pentium, Motorola DragonBall, dan beberapa mikrokontroler yang menggunakan ARM (Advanced RISC Machine Ltd) core. ARM hanya menjual desain arsitekur mikrokontroler/mikroprosesor. Saat ini sedang dipromosikan penggunaan mikrokontroler 32 bit yang berbasis propesor ARM dari keluarga seri Cortex M (ARM Cortex-MO, ARM Cortex-MO+,ARM Cortex-M3, ARM Cortex-M4, ARM Cortex-M7, ARM CortexR4, dan ARM Cortex A5). Perusahaan yang menggunakan lisensi ARM prosesor meliputi : Advanced Micro Devices, Inc., Broadcom, Samsung, Toshiba, Alcatel-Lucent, Apple Inc, Atmel, Intel, LG, Nuvoton, STMicroelectronics, Texas Instruments, Infineon, dan masih banyak lagi yang lainnya.

[14].Tahun 1980,Intel 8051 atau lebih dikenal dengan keluarga mikrokontroler yang paling populer. Vendor lain yang mengadopsi mikrokontroler Intel 8051 yaitu : Philips, Siemens, Atmel ATMEL juga membuat Mikrokontroler MCS 51 yaitu mikrokontroler Atmel seri AT89xxx, misalnya : AT89S51 dan AT89S52.

[15].Tahun 1996, Atmel AVR adalah salah satu keluarga mikrokontroler pertama yang menggunakan on-chip flash memory untuk penyimpanan program.

Perbedaan Mikroprosesor dan Mikrokontroler

Yang menjadi perbedaan mendasar antara mikroprosesor dan mikrokontroler. Mikroprosesor adalah chip (rangkaian terintegrasi yang komplek) berfungsi sebagai pemroses data dari input yang diterima pada suatu sistem digital. Mikroprosesor banyak ditemukan pada komputer khususnya CPU (Central Processing Unit) yang berfungsi untuk memproses data dan mengkoordinasikan kerja sebuah komputer Secara fisik mikroprosesor tidak dapat bekerja sendiri tanpa didukung oleh perangkat tambahan lainnya seperti, RAM, ROM atau I/O. Adapun mikrokontroler sebagaimana telah dijelaskan sebelumnya merupakan chip yang mampu melakukan kerja pengendalian terprogram. Mikrokontroler adalah chip lengkap yang didalam kemasannya terdapat mikroprosesor, I/O pendukung, memori bahkan perangkat ADC. Oleh karena kelengkapan fiturnya maka mikrokontroler sering disebut sebagai komputer mikro (microcomputer) karena dapat bekerja layaknya komputer namun secara fisik ukurannya kecil. Berikut ini adalah perbedaan yang utama antara mikroprosesor dan mikrokontroler yang dapat dilihat dari dua faktor utama yaitu arsitektur perangkat keras dan aplikasi masing-masing

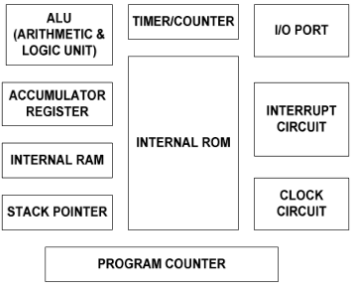
Tabel 24 Perbedaan Mikroprosesor dan Mikrokontroler

Tinjauan	Mikroprosesor	Mikrokontroler
Arsitektur	Mikroprosesor hanya merupakan sigle chip central processing unit (CPU)	Pada Mikrokontroler terdapat ROM, RAM, EPROM, serial interface, parallel interface, timer, interrupt controller, analog to digital converter (ADC)
Memori	Mikroprosesor memiliki kapasitas memori program (ROM) yang kecil, namun didukung oleh memori data (RAM) yang besar pada sebuah sistem komputer.	Mikrokontroler biasanya memiliki memori program (ROM) yang besar, namun memori data (RAM) yang kecil.
Software	Dalam sebuah computer, mikroprosesor mendukung	Mikrokontroler hanya dapat

	penggunaan software/program aplikasi yang besar	deprogram untuk pekerjaan terbatas, yang bearti hanya satu program saja yang dapat dimasukkan key dalam chip mikrokontroler
Aplikasi	Mikroprosesor hanya berfungsi sebagai CPU yang menjadi otak computer	Mikrokontroler berfungsi melakukan tugas tugas yang berorientasi kendali pada rangkaian yang membutuhkan jumlah komponen minimum dan biaya rendah. Aplikasi mikrokontroler terdapat di games boy, peralatan audio/video, remot control, robot dan lainnya
Harga	Mikroprosesor biaya relative mahal harganya, tergantung dari spesifikasi/kecepatannya	Mikrokontroler relative murah harganya dan mudah didapatkan di pasar elektronika

Arsitektur Mikrokontroler

Gambar 2.1 menunjukkan diagram blok struktur mikrokontroler yang pada umumnya terdiri dari beberapa bagian/komponen yang saling berhubungan melalui internal bus. Namun diagram blok ini tidaklah sama untuk setiap jenis mikrokontroler karena tergantung pada fitur yang tersedia dari masing masing mikrokontroler.



Gambar 206 Striktur Mikrokontroler

Penjelasan dari bagian/komponen dalam struktur mikrokontroler adalah sebagai berikut :

[1]. ALU (Arithmetic and Logic Unit) ALU berfungsi untuk menangani operasi aritmatika (penjumlahan, pengurangan, perkalian dan pembagian) dan juga operasi logika (and, or, exor, not, dan lain lain)

[2]. Accumulator Register Register akumulator merupakan register serbaguna yang berfungsi sebagai tempat penyimpanan sementara hasil suatu operasi aritmatika atau logika

[3]. Internal RAM (Random Access Memory) Merupakan memori penyimpan data yang isinya dapat diubah atau dihapus. RAM biasanya berisi data data variabel dan register. Data yang tersimpan di RAM akan hilang jika catu daya yang diberikan kepadanya dimatikan

[4]. Internal ROM (Read Only Memory) Merupakan memori penyimpan program/instruksi yang isinya tidak dapat diubah atau dihapus. Program tersimpan di ROM dalam format biner (0 atau 1). Untuk memasukan program/instruksi ke dalam chip mikrokontroler digunakan perangkat lunak khusus sesuai dengan tipe/jenis mikrokontrolernya

[5]. I/O Port Untuk berkomunikasi dengan dunia luar, maka mikrokontroler menggunakan terminal I/O (Input Output). Port tersebut disebut Input/Output karena port tersebut dapat digunakan sebagai masukan atau sebagai keluaran. Sebagai masukan misalnya jika sebuah sensor atau switch dihubungkan dengan mikrokontroler, dan sebagai keluaran misalnya jika

sebuah perangkat output (LED, relay atau motor) dihubungkan ke mikrokontroler.

[6]. Program Counter Merupakan register khusus yang berfungsi sebagai pencacah/penghitung eksekusi program mikrokontroler

[7]. Stack Pointer Merupakan bagian dari RAM yang memiliki metode penyimpanan dan pengambilan data secara khusus. Data yang disimpan dan dibaca tidak dapat dilakukan dengan metode acak (random). Data yang masuk ke stack pada urutan terakhir adalah data yang pertama dibaca kembali atau biasa disebut dengan LIFO (Last In First Out)

[8]. Timer/Counter Timer/conter digunakan untuk melakukan salah satu dari 3 (tiga) fungsi berikut, yaitu: penghitungan suatu interval waktu (interval timing), penghitungan banyaknya kejadian (event counting) dan pembangkit baud rate (baud rate generation) untuk komunikasi serial

[9]. Interrupt Circuit Rangkaian interupsi adalah rangkaian yang memiliki fungsi untuk mengendalikan sinyal sinyal interupsi baik internal maupun eksternal. Adanya sinyal interupsi akan menghentikan eksekusi normal program mikrokontroler untuk selanjutnya menjalankan sub program dari interupsi tersebut

[10]. Clock Circuit Oleh karena mikrokontroler merupakan rangkaian logika sekuensial, di mana proses bekerjanya melalui sinkronisasi clock maka diperlukan rangkaian clock yang menyediakan clock untuk seluruh bagian sistem mikrokontroler.

Prinsip Kerja Mikrokontroler

Pada dasarnya unjuk kerja mikrokontroler tergantung pada urutan program/instruksi yang dijalankannya, yaitu program yang ditulis di ROM. Prinsip kerja mikrokontroler adalah sebagai berikut :

[1]. Mikrokontroler memulai bekerja dengan mengambil data pada ROM dengan address yang ada pada progam counter (PC).

Selanjutnya PC ditambah nilainya dengan 1 (increment) secara otomatis

[2]. Selanjutnya instruksi tersebut dijalankan tergantung dari jenis istruksinya yakni : membaca,mengubah nilai register, mengaktifkan port, dan sebagainya

[3]. Mikrokontroler akan terus mengulang kembali langkah 1 dan 2, sampai power dari sistem mikrokontroler dimatikan.

Untuk dapat membuat mikrokontroler bekerja maka ada beberapa hal yang harus dikerjakan yaitu :

[1]. Membuat program di mana program yang dibuat harus sesuai dengan mikrokontroler yang digunakan, karena tiap mikrokontroler memiliki bahasa pemrograman sendiri

[2]. Pembuatan program tersebut biasanya dilakukan menggunakan teks editor yang mana setelah selesai dibuat maka program tersebut harus dikompilasi. Tujuan kompilasi adalah untuk mengubah program yang ditulis (op code) menjadi bahasa mikrokontroler

[3]. Selesai proses kompilasi (biasanya dalam format .hex), selanjutnya program tersebut dimasukkan ke dalam mikrokontroler menggunakan perangkat lunak downloader yang disesuiakan dengan jenis mikrokontrolernya.

Produsen Mikrokontroler

Dibawah ini adalah daftar produsen besar dari mikrokontroler.

[1]. Motorola Motorolla merupakan sebuah perusahaan multinasional yang menghasilkan berbagai macam produk teknologi. Didirikan pada tahun 1928 dengan nama Ludwig van Beethoven and Johannes Brahms. Bermarkas di Schaumburg, Illinois. Perusahaan ini menghasilkan berbagai macam produk-produk teknologi. Mempekerjakan 66.000 pekerja pada tahun 2006. Setelah kehilangan $4,3 miliar dari tahun 2007 hingga 2009, perusahaan ini dibagi menjadi dua perusahaan publik yang independen, Motorola Mobility dan Motorola Solutions pada

tanggal 4 Januari 2011. Motorola Solutions umumnya dianggap menjadi penerus langsung ke Motorola, Inc, karena reorganisasi itu terstruktur dengan Motorola Mobility yang dipisahkan.

[2]. Mitsubishi Companies adalah sebuah perusahaan Jepang yang menaungi berbagai perusahaan yang berbagi merek dagang dan bagian perusahaan Mitsubishi. Perusahaan ini didirikan pada tahun 1870 sebagai perusahaan pelayaran oleh Yataro Iwasaki.

[3]. NEC Corporation (dahulu merupakan singkatan dari Nippon Electric Company) adalah sebuah perusahaan teknologi informasi multi-nasional yang berkantor pusat di Minato, Tokyo, Jepang. NEC menyedikan informasi teknologi dan solutsi jaringkan kepada bisnis, penyedia jasa komunikasi, dan pemerintah. NEC merupakan pembuat dari Earth Simulator, salah satu superkomputer tercepat di dunia. NEC merupakan bagian dari Sumitomo Group. Bisnis mereka terbagi dalam tiga segmen utama: Solusi TI, Solusi jaringan, dan peralatan elektronik. Solusi TI melayani solusi penghitungan kepada bisnis, pemerintah, dan individual. Solusi jaringan menawarkan sistem jaringan, peralatan genggam, penyiaran, dan sistem lainnya. Divisi peralatan elektroniknya termasuk semikonduktor, tampilan, dan lain-lain. Tahun-tahun belakangan ini NEC merupakan salah satu perusahaan teratas dalam jumlah paten A.S. yang dikeluarkan, dengan rata-rata paten disetujui 1.764 per tahun.

[4]. Hitachi adalah perusahaan multinasional yang berkantor pusat di Marunouchi, Chiyoda, Tokyo, Jepang. Perusahaan induk bagi Hitachi Group. Hitachi berada di peringkat 371 dalam Forbes Global 2000 tahun 2007. Didirikan pada tahun 1910. Perusahaan ini mempekerjakan 384.444 pekerja pada tahun 2007

[5]. Philips Koninklijke Philips Electronics N.V. (Royal Dutch Philips Electronics Ltd.), biasa dikenal sebagai Philips, ialah salah satu produsen elektronik konsumen terbesar di dunia. Pada 2004, penjualannya sekitar 30,3 juta dan mereka mempekerjakan

161.586 orang di lebih dari 60 negara. Philips diorganisasi dalam sejumlah divisi: Philips Consumer Electronics, Philips Semiconductors, Philips Lighting, Philips Medical Systems dan Philips Domestic Appliances and Personal Care. Perusahaan ini didirikan pada 1891 oleh 2 bersaudara Gerard dan Anton Philips (1874-1951) di Eindhoven, Belanda. Produk pertamanya ialah bola lampu 'dan alat elektronik lainnya'. Pabrik pertamanya kini menjadi museum. Pada 1920-an, perusahaan ini mulai memproduksi produk lain, dan pada 1939 pisau cukur listrik pertamanya, Philishave, diperkenalkan. Philips memasarkan alat cukurnya di AS dengan nama Norelco.memperkenalkan tape compact audio cassette, yang dengan ramai sukses, melalui percobaan mereka mengatur standar untuk VCR, V2000, gagal dimuka persaingan dari Betamax dan khususnya standar VHS. Pada 9 Mei 1940, direktur Philips diberitahu mengenai penyerbuan Jerman ke Belanda pada 10 Mei. Mereka memutuskan meninggalkan negerinya dan lari ke Amerika Serikat. Mereka menerima banyak modal perusahaan dengannya. Beroperasi dari AS, mereka mengurus untuk menjalankan perusahaan sepanjang perang. Di saat yang sama, perusahaan itu sendiri pindah ke Antillen Belanda untuk menjaganya dari tangan Jerman. Setelah perang kembali ke Belanda, dengan markasnya di Eindhoven (dan pada 1997 keputusan dibuat untuk pindah ke Amsterdam perpindahan ini selesai pada 2001). Banyak fasilitas penelitian rahasia dikunci dan berhasil disembunyikan dari penyerang, yang memungkinkan perusahaan berlari cepat lagi setelah perang. Juga dipercaya bahwa Philips -sebelum dan selama perang memasok banyak peralatan listrik kepada angkatan pendudukan Jerman, yang membuat beberapa orang berpikir bahwa perusahaan itu berkolaborasi dengan Nazi, seperti banyak perusahaan lain saat itu. Bagaimanapun, tiada fakta yang mendukung bahwa Philips sendiri atau manajemennya pernah setuju dengan Nazi atau pahamnya. Secara jelas, ada sedikit Philips sudah bisa berbuat mencegah Jerman dari penyalahgunaan fasilitas produksinya dan memaksa pekerjanya melakukan kerja paksa selama pendudukan. Fasilitas produksi

di Eindhoven merupakan satu satunya sasaran Belanda yang dengan sengaja dibom angkatan sekutu selama perang.

[6]. Intel Corporation (NASDAQ: INTC; didirikan 1968) adalah sebuah perusahaan multinasional yang berpusat di Amerika Serikat dan terkenal dengan rancangan dan produksi mikroprosesor dan mengkhususkan dalam sirkuit terpadu. Intel juga membuat kartu jaringan, chipset papan induk, komponen, dan alat lainnya. Intel memiliki projek riset yang maju dalam seluruh aspek produksi semikonduktor, termasuk MEMS. Intel mengganti logo dan slogannya pada 2 Januari 2006. Slogan lamanya ”Intel inside” diganti dengan ”Leap ahead”.

[7]. Toshiba adalah perusahaan pemroduksi elektronik teknologi tinggi yang bermarkas di Tokyo, Jepang. Toshiba adalah perusahaan elektronik terbesar di dunia. Toshiba saat ini kebanyakan buatan RRC. Semikonduktor buatan Toshiba termasuk ke dalam jajaran 20 Semikonduktor dengan Penjualan Terbesar. Tahun 2009, Toshiba merupakan perusahaan komputer terbesar kelima di dunia, di bawah Hewlett-Packard dari AS, Dell dari AS, Acer dari Taiwan, dan Apple dari AS.

[8]. National Semiconductor (NYSE: NSM) adalah sebuah perusahaan pembuat semikonduktor Amerika Serikat yang berkecimpung di bidang peralatan analog dan subsistem yang berpusat di Santa Clara, California, Amerika Serikat. Produk-produk National Semiconductor meliputi sirkuit pengelolaan tenaga, driver tampilan, amplifier operasional dan audio, produk antarmuka komunikasi dan solusi konversi data. Pasar utama National meliputi peralatan nirkabel, layar tampilan dan berbagai pasar elektronik luas, termasuk di bidang medis, otomotif, industri, dan persyaratan uji dan penilaian.

[9]. Zilog, Inc, sebelumnya dikenal sebagai Zilog (yang merupakan singkatandari ”Z (kata terakhir dalam) logika terpadu”), adalah produsen Amerika dari mikrokontroler 8-bit dan 16-bit, dan yang paling terkenal dengan Intel 8080 kompatibel Z80 series.

Zilog didirikan di California pada tahun 1974 oleh Federico Faggin, yang meninggalkan Intel setelah bekerja pada 4004 dan 8080 mikroprosesor. Perusahaan menjadi anak perusahaan dari Exxon pada tahun 1980, namun manajemen dan karyawan membelinya kembali pada tahun 1989 dipimpin oleh Dr Edgar Sack. Z80 (i) adalah sebuah implementasi penyempurnaan dari arsitektur Intel 8080, yang lebih cepat, lebih mampu, dan jauh lebih murah; bersama 6502 itu adalah salah satu prosesor 8-bit yang paling populer untuk mikrokomputer tujuan umum dan aplikasi lainnya. Itu digunakan dalam Nintendo Game Boy, Sinclair ZX80, ZX81, ZX Spectrum dan rumah komputer Amstrad BPK serta arsitektur MSX dan Microbee dan Tandy TRS-80 seri di antara banyak lainnya. Lebih dari sekadar memicu perbaikan di bidang tunas komputasi rumah dan game, Z-80 juga memicu revolusi dalam musik elektronik, sebagai synthesizer pertama benar benar diprogram polifonik (serta periferal mereka) sangat bergantung pada implementasi dari CPU ini.

[10]. Texas Instruments Inc. (NYSE: TXN), dikenal luas sebagai TI, adalah sebuah perusahaan Amerika Serikat yang berpusat di Dallas, Texas, Amerika Serikat, yang mengembangkan dan memasarkan semikonduktor dan teknologi komputer. TI adalah produsen semikonduktor terbesar ketiga di dunia setelah Intel dan Samsung, pemasok cip untuk peralatan seluler terbesar kedua setelah Qualcomm, dan produsen semikonduktor prosesor sinyal digital (DSP) dan analog terbesar, di antara produk-produk semikonduktor lainnya. Setelah pengambilan alih National Semiconductor tahun 2011, perusahaan ini memiliki portofolio gabungan sebanyak 45.000 produk analog dan peralatan desain pelanggan. Pada tahun 2011, Texas Instruments menempati peringkat 175 dalam Fortune 500.

[11]. Siemens AG adalah salah satu perusahaan industri besar dunia. Kantor pusat internasionalnya terletak di Berlin dan Mnchen, Jerman. Siemens AG terdaftar di Bursa Saham Frankfurt dan juga di Bursa Saham New York sejak 12 Maret

2001. Di seluruh dunia, Siemens dan anak perusahaannya mempekerjakan 461.000 orang (2005) di 190 negara dan melaporkan penjualan global sebesar 85 miliar dalam tahun fiskal 2005.

[12]. Sharp Corporation merupakan sebuah perusahaan multinasional yang menghasilkan berbagai macam produk elektronik. Didirikan pada tahun 1912. Bermarkas di Osaka, Jepang. Perusahaan ini mempekerjakan 56.000 pekerjanya pada tahun 2008.

Bahan diskusi dan Tugas

1. Jelaskan pengertian Mikrokontroler
2. Jelaskan perbedaan Mikroprosesor dan Mikrokontroler
3. Sebutkan 3 (tiga) peralatan elektronik yang menggunakan teknologi mikrokontroler
4. Jelaskan jenis jenis Mikrokontroler
5. Mengapa rangkaian clock sangat penting terdapat pada rangkaian logika sekuensial ?
6. Mengapa program yang sudah dibuat pada teks editor harus dikompilasi

BAB 10

Pengenalan PLC (Programmable Logic Controller)

MAWARDI

knowledge exists in knowing that you know nothing

PLC

PLC (*Programmable Logic Control*) adalah sebuah alat yang digunakan untuk menggantikan rangkaian sederetan *relay* yang dijumpai pada sistem kontrol proses konvensional. PLC bekerja dengan cara mengamati masukan (melalui sensor-sensor terkait), kemudian melakukan proses dan melakukan tindakan sesuai yang dibutuhkan, yang berupa menghidupkan atau mematikan keluarannya (logika 0 atau 1, hidup atau mati). Pengguna membuat program (yang umumnya dinamakan diagram tangga atau *ladder* diagram) yang kemudian harus dijalankan oleh PLC yang bersangkutan, Dengan kata lain, PLC menentukan aksi apa yang harus dilakukan pada instrumen keluaran berkaitan dengan status suatu ukuran atau besaran yang diamati.

Definisi *Programmable Logic Controller* menurut Capiel (1982) adalah :sistem elektronik yang beroperasi secara digital dan didesain untuk pemakaian di lingkungan industri, dimana sistem ini menggunakan memori yang dapat diprogram untuk penyimpanan secara internal instruksi-instruksi yang mengimplementasikan fungsi-fungsi spesifik seperti logika, urutan, pewaktuan, pencacahan dan operasi aritmatik untuk mengontrol mesin atau proses melalui modul-modul I/O digital maupun analog

Berdasarkan namanya konsep PLC adalah sebagai berikut :

a. *Programmable*, menunjukkan kemampuan dalam hal memori untuk menyimpan program yang telah dibuat yang dengan mudah diubah-ubah fungsi atau kegunaannya
b. *Logic*, menunjukkan kemampuan dalam memproses *input* secara aritmatik dan *logic* (ALU), yakni melakukan operasi membandingkan, menjumlahkan, mengalikan, membagi, mengurangi, negasi, AND, OR, dan lain sebagainya
c. *Controller*, menunjukkan kemampuan dalam mengontrol dan mengatur proses sehingga menghasilkan *output* yang diinginkan.

PLC ini dirancang untuk menggantikan suatu rangkaian *relay sequensial* dalam suatu sistem kontrol. Selain dapat diprogram, alat ini juga dapat dikendalikan, dan dioperasikan oleh orang yang tidak

memiliki pengetahuan di bidang pengoperasian komputer secara khusus. PLC ini memiliki bahasa pemrograman yang mudah dipahami dan dapat dioperasikan bila program yang telah dibuat dengan menggunakan *software* yang sesuai dengan jenis PLC yang digunakan sudah dimasukkan. Alat ini bekerja berdasarkan *input* input yang ada dan tergantung dari keadaan pada suatu waktu tertentu yang kemudian akan meng ON atau meng OFF kan *output* output. 1 menunjukkan bahwa keadaan yang diharapkan terpenuhi sedangkan 0 berarti keadaan yang diharapkan tidak terpenuhi. PLC juga dapat diterapkan untuk pengendalian sistem yang memiliki *output* banyak.

Pendekatan sistematik dalam perancangan sistem kontrol proses :

[1]. Memilih suatu instrumen atau sistem yang hendak dikontrol; Sistem yang terotomasi bisa berupa sebuah mesin atau suatu proses yang kemudian disebut sebagai sistem kontrol proses. Fungsi dari sistem kontrol proses ini secara terus-menerus akan mengamati sinyal sinyal yang berasal dari piranti piranti masukan (sensor) dan tanggapannya berupa suatu sinyal yang diberikan ke piranti keluaran eksternal yang secara langsung mengontrol bagaimana suatu sistem beroperasi atau bekerja.
[2]. Menentukan semua masukan dan keluaran yang akan dihubungkan ke PLC; Piranti masukan dapat berupa sakelar, sensor dan lain sebagainya. Sedangkan piranti keluaran dapat berupa selenoida, kran elektromagnet, motor, relai, starter magnet begitu juga dengan instrumen lain yang bisa menghasilkan suara atau cahaya (lampu) dan lain sebagainya. Setelah menentukan kebutuhan semua piranti masukan dan keluaran dilanjutkan dengan menentukan penggunaan jalur-jalur masukan dan keluaran pada PLC untuk piranti piranti masukan dan keluaran yang sudah ditentukan tadi.
[3]. Membuat program yang lebih dikenal dengan diagram tangga (untuk PLC) sesuai dengan jalannya proses yang diinginkan. Dalam hal ini bisa digunakan terminal konsol yang langsung berhubungan dengan PLC yang bersangkutan atau melalui komputer PC yang memiliki saluran komunikasi yang dibutuhkan untuk mentransfer program dari komputer PC ke PLC maupun sebaliknya.
[4]. Program disimpan ke dalam PLC; baik dilakukan secara langsung melalui terminal konsol maupun melalui komputer

PC. Program kendali PLC terdiri atas tiga unsur yaitu : alamat, instruksi, dan *operand*. Alamat adalah nomor yang menunjukkan lokasi, instruksi, atau data dalam daerah memori. Instruksi harus disusun secara berurutan dan menempatkannya dalam alamat yang tepat sehingga seluruh instruksi dilaksanakan mulai dari alamat terendah hingga alamat tertinggi dalam program. Instruksi adalah perintah yang harus dilaksanakan PLC. PLC hanya dapat melaksanakan instruksi yang ditulis menggunakan ejaan yang sesuai. Oleh karena itu, pembuat program harus memperhatikan tata cara penulisan instruksi. *Operand* adalah nilai berupa angka yang ditetapkan sebagai data yang digunakan untuk suatu instruksi. *Operand* dapat dimasukkan sebagai konstanta yang menyatakan nilai angka nyata atau merupakan alamat data dalam memori.

Secara umum fungsi PLC adalah sebagai berikut:

[1]. *Sekuensial Control*. PLC memproses *input* sinyal biner menjadi *output* yang digunakan untuk keperluan pemrosesan teknik secara berurutan (*sekuensial*), disini PLC menjaga agar semua step atau langkah dalam proses *sekuensial* berlangsung dalam urutan yang tepat

[2]. *Monitoring Plant*. PLC secara terus menerus memonitor status suatu sistem (misalnya temperatur, tekanan, tingkat ketinggian) dan mengambil tindakan yang diperlukan sehubungan dengan proses yang dikontrol (misalnya nilai sudah melebihi batas) atau menampilkan pesan tersebut pada operator.

Sedangkan fungsi PLC secara khusus adalah dapat memberikan *input* ke CNC (*Computerized Numerical Control*). Beberapa PLC dapat memberikan *input* ke CNC untuk kepentingan pemrosesan lebih lanjut. CNC bila dibandingkan dengan PLC mempunyai ketelitian yang lebih tinggi dan lebih mahal harganya. CNC biasanya dipakai untuk proses *finishing*, membentuk benda kerja, *moulding* dan sebagainya.

Prinsip kerja sebuah PLC adalah menerima sinyal masukan proses yang dikendalikan lalu melakukan serangkaian instruksi logika terhadap sinyal masukan tersebut sesuai dengan program yang tersimpan dalam memori lalu menghasilkan sinyal keluaran untuk mengendalikan aktuator atau peralatan lainnya.

Gambar 207 PLC modular dari Omron.

Prinsip kerja PLC

Prinsip kerja sebuah PLC adalah menerima sinyal masukan proses yang dikendalikan lalu melakukan serangkaian instruksi logika terhadap sinyal masukan tersebut sesuai dengan program yang tersimpan dalam memori lalu menghasilkan sinyal keluaran untuk mengendalikan aktuator atau peralatan lainnya.

PLC memiliki dua bagian dasar, yaitu : *Input/Output interface system* dan *Central Processing* unit.

[1]. Input

Input yang akan masuk ke dalam CPU berupa *signal* dari sensor atau tranducer. *Signal* sensor ini terdapat dua jenis, yaitu: *discrete signal* dan analog *signal*. *Discrete signal* berupa sakelar biner dimana hanya sebuah ON atau OFF *signal* (1 atau 0, Benar atau salah), Contoh nya : *push button*, limit *switch* dan level sensor. Sedangkan analog *signal* menggunakan prinsip rentang suatu nilai antara nol hingga skala penuh. Contoh nya dalam kehidupan sehari hari adalah ketika sedang memutar volume speaker atau radio Rentang nilai dari sensor ini akan diinterpretasikan sebagai nilai-nilai integer oleh CPU PLC. CPU PLC pada saat ini sering menggunakan 16 bit prosesor sehingga nilai integer nya memiliki rentang -32768 hingga 32767. Contoh dari analog signal ini adalah sensor tekanan, sensor *temperature*, dan sensor aliran. Analog *signal* dapat berupa tegangan atau arus listrik dan nilai ini akan diproporsionalkan dengan nilai integer CPU, contohnya: sebuah analog 0 – 5 V atau 4 - 20 mA akan dikonversikan menjadi nilai integer 0 – 32767.

[2]. CPU

Semua aktivitas atau pemrosesan data yang diambil dari sensor (data *input*) terjadi pada *Central Processing* Unit (CPU). CPU ini memiliki tiga bagian utama, yaitu : *Processor*, *Memory* System, dan System Power Supply. *Processor* akan memproses *signal input* secara aritmatik dan *logic*, yaitu melakukan operasi logika, *sequential*, *timer*, *counter* dan mengolah fungsi-fungsi yang diinginkan berdasarkan program yang telah ditentukan. Selain itu, *processor* juga mengolah program yang ada di dalam memori, serta mengatur komunikasi antara *input* output, memori dengan *processor* itu sendiri.

[3]. *Output*

Hasil pemrosesan data yang diolah pada CPU akan berupa *signal* keluaran digital yang dikirim ke modul *output* untuk menjalankan aktuator. Aktuator ini dapat berupa motor listrik, solenoid, *heater*, *led display*, *injector*, *heater*, pompa, dan lain-lain. Aktuator ini akan berfungsi sesuai instruksi dari CPU, jika pada CPU telah diprogram *timer* ON dari lampu selama dua detik maka lampu pada aktuator akan menyala selama dua detik dan kemudian setelah dua detik lampu akan OFF.

Tipe PLC berdasarkan cara operasinya dikelompokkan menjadi 3, yaitu :

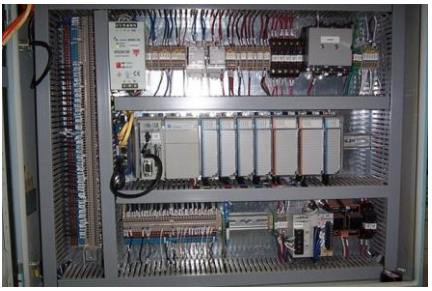
[1]. Berbasis Rak atau sistem berbasis alamat

PLC dengan susunan rak-rak disebut juga sistem berbasis alamat, karena modul-modul *input* dan *output* (I/O) dalam rak merupakan jalan lalu lintas sinyal *input* atau *output* melalui alamat yang sesuai dengan tempat dimana rak tersebut terpasang. Modul *input* atau *output* pada umumnya berfungsi sebagai terminal antarmuka (*interface*) dimana perangkat luar dapat dipasangkan, sebagai rangkaian pengkondisi sinyal yang menjembatani sinyal PLC dengan sinyal yang didapat dari perangkat luar. Cara pengalamatan bisa saja berbeda antara vendor satu dengan vendor lainnya, tetapi pada umumnya adalah sebagai berikut :

I : (nomor rak/*slot*) atau (nomor terminal) untuk modul *input*, dan
O : (nomor rak/*slot*) atau (nomor terminal untuk modul *output*,

misalnya : modul DC ditempatkan pada *slot*/rak *input* 2, di terminal 5 dan modul *output* ditempatkan pada *slot*/rak *output* 5, di terminal

12. Maka modul *input* tersebut dituliskan I :$\frac{2}{5}$ dan modul *output* dituliskan O : $\frac{5}{12}$



Gambar 208 PLC berbasis Rak

[2]. Sistem Berbasis Tak

Beberapa vendor menggunakan tipe ini karena dapat digunakan untuk perangkat lunak berbahasa tingkat tinggi (bukan bahasa mesin), seperti BASIC dan C. Pada PLC tipe ini, sistem pengalamatan, pemberian nama variabel perangkat *input* dan *output* dapat dibuat/dirancang pada sistem. Setiap variabel adalah sebuah *Tag* dan masing-masing diberi nama. Jika sebuah *Tag* atau variabel didefinisikan, maka tipe data yang ditunjukkan oleh *Tag* atau variabel tersebut akan dideklarasikan.

Gambar 209 PLC berbasis Tak

[3]. *Soft* PLC atau Kontrol Berbasis Personal *Computer* (PC)

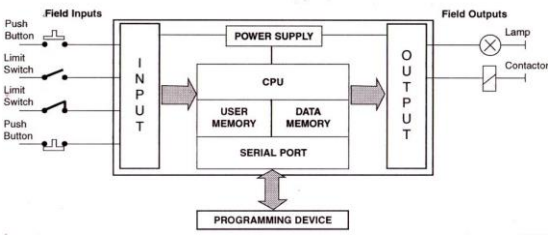
Personal *computer* (PC) dapat digunakan untuk mengeksekusi instruksi program sekaligus menjalankan perangkat yang dikontrol PLC. Di Industri, kartu I/O sebuah PC dapat digunakan antarmuka (*interface*) bagi perangkat-perangkat luar diluar PLC dan PC juga dapat difungsikan sebagai PLC. *Soft* PLC sangat efektif digunakan untuk kontrol ON/OFF atau sebuah proses kontrol yang berurutan

dan kontrol lain yang hanya sedikit memerlukan perhitungan numerik.

Gambar 210 PLC PC

Bagian bagian PLC

Pada dasarnya PLC merupakan suatu mikrokontroller yang digunakan untuk keperluan industri. PLC dapat dikatakan sebagai suatu perangkat keras dan lunak yang dibuat untuk diaplikasikan dalam dunia industri. PLC memiliki bagian bagian yang sama dengan komputer maupun mikrokontroler, yaitu CPU, Memori dan I/O. Susunan komponen PLC dapat dilihat pada gambar berikut :



Gambar 211 Bagian bagian PLC

Adapun Penjelasan dari komponen-komponen pada PLC adalah Sebagai Berikut :

[1]. *Central Processing* Unit (CPU)
CPU merupakan bagian utama dan merupakan otak dari PLC. CPU ini berfungsi untuk melakukan komunikasi dengan PC atau *Console*, interkoneksi pada setiap bagian PLC, mengeksekusi program-program, serta mengatur *input* dan *ouput system*

[2]. Memori
Memori merupakan tempat penyimpan data sementara dan tempat menyimpan program yang harus dijalankan, dimana program tersebut merupakan hasil terjemahan dari *ladder* diagram yang dibuat oleh *user*. Sistem memori pada PLC juga mengarah pada

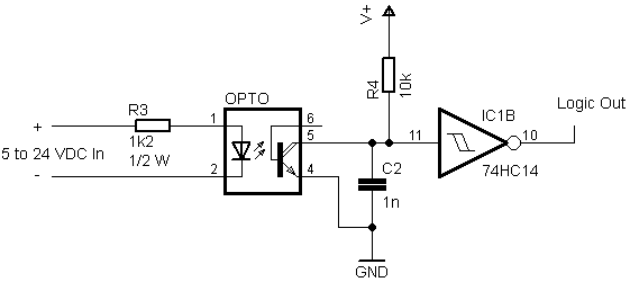
teknologi *flash memory*. Dengan menggunakan *flash memory* maka akan sangat mudah bagi pengguna untuk melakukan *programming* maupun *reprogramming* secara berulang-ulang. Selain itu pada *flash memory* juga terdapat EPROM yang dapat dihapus berulang ulang. Sistem memori dibagi dalam blok blok dimana masing masing blok memiliki fungsi sendiri-sendiri. Beberapa bagian dari memori digunakan untuk menyimpan status dari *input* dan *output*, sementara bagian memori yang lain digunakan untuk menyimpan *variable* yang digunakan pada program seperti nilai *timer* dan *counter*. PLC memiliki suatu rutin kompleks yang digunakan untuk memastikan memori PLC tidak rusak. Hal ini dapat dilihat lewat lampu indikator pada PLC.

[3]. Catu Daya PLC

Catu daya (*power supply*) digunakan untuk memberikan tegangan pada PLC. Tegangan masukan pada PLC biasanya sekitar 24 VDC atau 220 VAC. Pada PLC yang besar, catu daya biasanya diletakkan terpisah. Catu daya tidak digunakan untuk memberikan daya secara langsung ke *input* maupun *output*, yang berarti *input* dan *output* murni merupakan sakelar. Jadi pengguna harus menyediakan sendiri catu daya untuk *input* dan *output* pada PLC. Dengan cara ini maka PLC itu tidak akan mudah rusak.

[4]. Rangkaian *Input* PLC

Kemampuan suatu sistem otomatis tergantung pada kemampuan PLC dalam membaca sinyal dari berbagai piranti *input*, contoh sensor. Untuk mendeteksi suatu proses dibutuhkan sensor yang tepat untuk tiap-tiap kondisi. Sinyal *input* dapat berupa logika 0 dan 1 (ON dan OFF) ataupun analog. Pada Jalur *Input* terdapat rangkaian antarmuka yang terhubung dengan CPU. Rangkaian ini digunakan untuk menjaga agar sinyal-sinyal yang tidak diinginkan tidak langsung masuk ke dalam CPU. Selain itu juga rangkaian ini berfungsi sebagai tegangan dari sinyal-sinyal *input* yang memiliki tegangan kerja yang tidak sama dengan CPU agar menjadi sama. Contoh Jika CPU menerima *input* dari sensor yang memiliki tegangan kerja sebesar 24VDC maka tegangan tersebut harus dikonversi terlebih dahulu menjadi 5VDC agar sesuai dengan tegangan kerja CPU.



Gambar 212 Rangkaian PLC

Rangkaian ini digunakan untuk menjaga agar sinyal-sinyal yang tidak diinginkan tidak langsung masuk ke dalam CPU. Selain itu juga rangkaian ini berfungsi sebagai tegangan dari sinyal-sinyal *input* yang memiliki tegangan kerja yang tidak sama dengan CPU agar menjadi sama. Contoh Jika CPU menerima *input* dari sensor yang memiliki tegangan kerja sebesar 24VDC maka tegangan tersebut harus dikonversi terlebih dahulu menjadi 5VDC agar sesuai dengan tegangan kerja CPU. Rangkaian ini disebut dengan rangkaian *Opto* Isolator yang artinya tidak ada hubungan kabel dengan dunia luar. Cara kerjanya yaitu ketika bagian *input* memperoleh sinyal, maka akan mengakibatkan LED menjadi ON sehingga *photo* transistor menerima cahaya dan akan menghantarkan arus ON sehingga tegangannya drop di bawah 1 Volt. Hal ini akan menyebabkan CPU membaca logika 0. Begitu juga sebaliknya.

[5]. Rangkaian *output* PLC

Suatu sistem otomatis tidak akan lengkap jika sistem tersebut tidak memiliki jalur *output*. *Output* sistem ini dapat berupa analog maupun digital. *output* analog digunakan untuk menghasilkan sinyal analog sedangkan *output* digital digunakan untuk menghubungkan dan memutuskan jalur, misalnya piranti *output* yang sering dipakai dalam PLC adalah motor, relai, selenoid, lampu, dan *speaker*. Seperti pada rangkaian *input* PLC, pada bagian *output* PLC juga dibutuhkan suatu antarmuka yang digunakan untuk melindungi CPU dari peralatan eksternal. Antarmuka *output* PLC sama dengan antarmuka *input* PLC.

[6]. Penambahan I/O PLC

Setiap PLC pasti memiliki jumlah I/O yang terbatas, yang ditentukan berdasarkan tipe PLC. Namun dalam Aplikasi sering kali I/O yang ada pada PLC tidak mencukupi. Oleh sebab itu diperlukan perangkat tambahan untuk menambah jumlah I/O yang tersedia. Penambahan jumlah I/O ini dinamakan dengan *expansin*

Kelebihan dan kekurangan PLC

Sebagai salah satu alat kontrol yang bisa diprogram PLC mempunyai kelebihan dan kekurangan dibandingkan dengan alat kontrol konvensional, yaitu sebagai berikut :

Kelebihan

Beberapa kelebihan yang dimiliki oleh PLC dibanding dengan alat kontrol konvensional lainnya yaitu :

- *Fleksibelitas*. Sebelum ditemukan PLC, setiap mesin mempunyai alat *control* atau pengendali tersendiri, misalkan terdapat 10 buah mesin maka alat pengendali yang diperlukan juga terdapat 10 buah. Dengan PLC maka untuk mengendalikan beberapa mesin hanya memerlukan 1 buah PLC saja. Sehingga sistem ringkas dan kabel yang digunakan semakin sedikit, tidak perlu banyak ruang untuk menempatkannya

- Menyederhanakan Komponen Komponen Sistem Kontrol. Karena pada sistem kontrol konvensional penggunaan relai membutuhkan *counter*, *timer* atau komponen lain untuk peralatan tambahan sedangkan PLC didalamnya terdapat *timer*, *counter*, relai dan komponen lainnya. Sehingga sistem kontrol lebih sederhana.

- Metode Pemrograman Mudah Dan Bermacam-macam. Banyak metode yang ditawarkan untuk membuat suatu program pada PLC, diantaranya *Ladder Logic* Diagram, Mnemonik dan *Function Block* Diagram, sehingga *programmer* PLC dapat memilih metode sesuai dengan kebutuhan dan kemampuan.

- Perubahan atau Pemrograman Ulang Dan Deteksi Koreksi Kesalahan Lebih Mudah. Setelah desain program kontrol selesai dibuat, kemudian dimasukkan dalam PLC dengan cara memprogramnya, maka program tersebut dapat dengan mudah diubah atau diulang dengan menggunakan *keyboard* hanya dalam beberapa menit saja. Setelah itu program kembali dijalankan, jika masih terdapat kesalahan dapat dikoreksi dengan menggunakan diagram tangga (*ladder* diagram) pada program yang terdapat pada *computer*, sehingga koreksinya dapat dengan segera dilakukan. Jika tidak menggunakan PLC maka perubahannya dilakukan dengan mengubah pengkabelannya yang membutuhkan waktu yang lama.

- Banyak Kontak. Pada relai menyediakan kontak 4-8 kontak, sedangkan PLC menyediakan lebih banyak minimal 16 kontak. Dengan banyaknya kontak PLC memberikan kemudahan dari segi instalasi dan anggaran.

- Harga Relatif Murah. PLC menawarkan pengkabelan sederhana, dengan sebuah PLC pengkabelan dapat dilakukan dengan jumlah sedikit, karena PLC mencakup *relay*, *timer*, *counter*, *sequencer* dan beberapa fungsi yang disesuaikan dengan kebutuhan. Perkembangan teknologi memungkinkan untuk meningkatkan beberapa fungsi dengan bentuk ukuran yang semakin kecil, sehingga menurunkan harga pembuatan PLC. Salah satu fungsi yang terus ditingkatkan adalah modul I/O {masukan/keluaran} yang harganya bisa didapatkan lebih murah

- Pengamatan Visual .Operasi PLC saat menjalankan program yang telah dibuat dapat dilihat dengan teliti pada layar monitor, sehingga sangat memudahkan dalam proses pencarian, pengamatan atau pembenahan program. Sehingga proses pembenahan hanya membutuhkan waktu yang relatif singkat

- Dokumentasi Mudah. PLC dirancang untuk mampu menyimpan data data yang diperlukan sesuai dengan kebutuhan dan program. Dengan adanya *interface* yang dapat menampilkan proses data maupun perbandingan kedalam

suatu perangkat *computer* (PC) yang terhubung dengan PLC yang selanjut untuk dicetak. Hasil pemrograman PLC dapat dicetak dengan mudah hanya dalam beberapa menit saja jika dibutuhkan, sehingga dapat dengan mudah dalam pencarian arsip gambar kontrol.

- Kecepatan Operasi. Kecepatan operasi PLC sanggatlah cepat, untuk mengaktifkan fungsi-fungsi logika hanya dalam waktu beberapa milidetik.

- Keamanan Terjamin. PLC termasuk peralatan yang luar biasa aman, dari segi dokumentasi, peralatan dan hal-hal tentang program. PLC mempunyai sistem penguncian (*lock*) untuk mengurangi dan dapat menghindarkan terjadinya pencurian atau pengubahan program dari orang-orang yang tidak berkepentingan.

- Penambahan atau Memodifikasi Rangkaian Lebih Cepat. Dengan PLC sewaktu-waktu dapat dimodifikasi atau menambah rangkaian kontrol dengan cepat, tanpa biaya dan biaya yang besar seperti pada sistem kontrol konvensional.

- Implementasi Proyek Lebih Singkat. Pemakaian PLC membuat rancangan proyek dapat diimplementasikan lebih singkat dibandingkan dengan sistem kontrol konvensional.

Kekurangan

Beberapa kekurangan yang dimiliki oleh PLC dibanding dengan alat kontrol konvensional lainnya yaitu :

- Keadaan Lingkungan Untuk proses seperti pada lingkungan panas dan vibrasi (getaran) yang tinggi dan terjadi terus-menerus penggunaannya kurang cocok karena dapat mengganggu kinerja bahkan merusak PLC.

- Teknologi Baru. Karena teknologi baru, untuk mengubah sistem konvensional dibutuhkan waktu, sehingga perlu pertimbangan untuk memakainya baik secara keseluruhan maupun secara ekonomi.

- Operasi Dengan Rangkaian Yang Statis (tetap). Kinerja PLC menjadi tidak efektif dan optimal bahkan cenderung memboroskan biaya jika rangkaian pada sebuah operasi sistem kontrol tidak dilakukan secara menyeluruh. Prosesnya akan menjadi lebih lambat dan membuat sistem terganggu, mempengaruhi hasil produksi dan keluaran

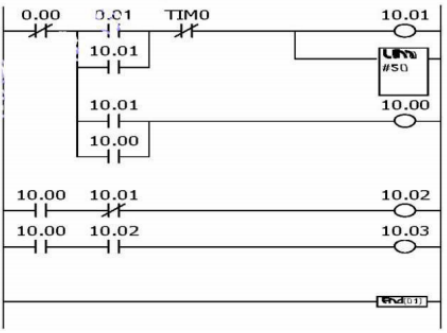
- Aplikasi Program PLC Buruk Untuk Aplikasi Statis (Tetap). Aplikasi-aplikasi PLC dapat mencangkup beberapa fungsi sekaligus, tetapi disisi lain beberapa aplikasi merupakan aplikasi dengan satu fungsi yang jarang sekali dilakukan perubahan bahkan tidak sama sekali atau statis. Sehingga penggunaan aplikasi dengan satu fungsi tidak efektif karena menghabiskan biaya yang besar alias boros.

Bahasa Pemrograman

Program PLC dapat dibuat dengan menggunakan beberapa cara yang disebut bahasa pemrograman. Bentuk program berbeda-beda sesuai dengan bahasa pemrograman yang digunakan. Bahasa pemrograman tersebut antara lain: diagram *ladder*, kode mnemonik, diagram blok fungsi, dan teks terstruktur. Beberapa merek PLC hanya mengembangkan program diagram *ladder* dan kode mnemonik.

[1]. Diagram Ladder

Diagram *ladder* terdiri atas sebuah garis vertikal di sebelah kiri yang disebut bus bar, dengan garis bercabang ke kanan yang disebut rung. Sepanjang garis instruksi, ditempatkan kontak-kontak yang mengendalikan/ mengondisikan instruksi lain di sebelah kanan Kombinasi logika kontak-kontak ini menentukan kapan dan bagaimana instruksi di sebelah kanan dieksekusi. Contoh diagram *ladder* ditunjukkan pada gambar 210.



Gambar 213 Rangkaian PLC

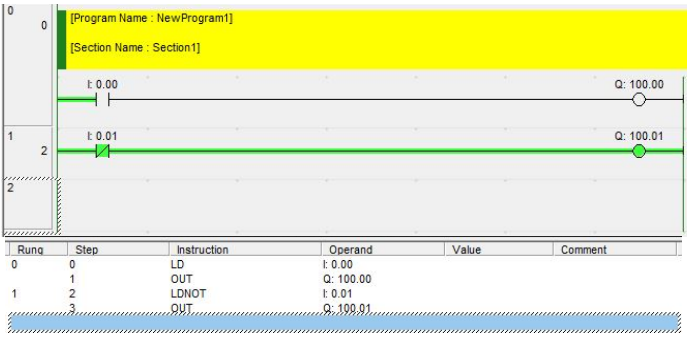
Terlihat dari gambar di atas bahwa garis instruksi dapat bercabang kemudian menyatu kembali. Sepasang garis vertikal disebut kontak (kondisi). Ada dua kontak, yaitu kontak NO (*Normally* Open) yang digambar tanpa garis diagonal dan kontak NC (*Normally Closed*) yang digambar dengan garis diagonal. Angka di atas kontak menunjukkan bit *operand*. Kode mnemonik memberikan informasi yang sama persis seperti halnya diagram *ladder*. Sesungguhnya, program yang disimpan di dalam memori PLC dalam bentuk mnemonik, bahkan meskipun program dibuat dalam bentuk diagram *ladder*. Oleh karena itu, memahami kode mnemonik itu sang

Instruksi Pemrograman

Pemrograman menggunakan *ladder* diagram / diagram tangga, diantaranya LD, LD NOT, AND, AND NOT, OR dan OR NOT. Seperti yang sudah dijelaskan sebelumnya, maka pada instruksi ini menggunakan *software* CX-*Programmer* dari PLC Omron, pengalamat dan instruksinya pun menggunakan pengalamatan dan instruksi pada PLC Omron. I: 0.00 adalah masukan, sementara untuk Q: 100.00 adalah keluaran. Biasanya masukan bisa berupa sensor yang memiliki logika nol atau satu seperti *proximity* sensor, *push button*, sakelar, dan lainnya. Sementara untuk keluaran biasanya adalah lampu, kontraktor, pneumatik, hidrolik atau bahkan motor.

[1]. Instruksi LOAD dan LOAD NOT

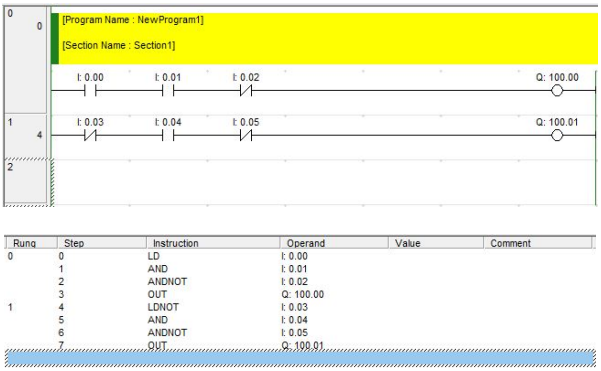
Instruksi LOAD dan LOAD NOT menentukan kondisi eksekusi awal, oleh karena itu, dalam diagram *ladder* disambung ke bus bar sisi kiri. Pada rung 0 terdapat Instruksi LD karena kontak yang digunakan merupakan kontak *Normally* Open, sedangkan pada rung 1 instruksinya LD NOT karena kontak yang digunakan merupakan kontak *Normally Close*.



Gambar 214 Diagram LD NOT dan Kode Mnemonic LD NOT

[2]. Instruksi AND dan AND NOT

Prinsip logika AND adalah logika DAN. Keluaran akan bernilai satu jika kedua masukan bernilai satu. Sehingga, ketika salah satu masukan bernilai nol maka keluaran akan bernilai nol. Hal tersebut membuat keluaran tidak aktif. Biasanya hubungan logika dan itu adalah hubungan seri. Sementara logika AND NOT adalah kebalikan dari logika AND. Jika dua atau lebih kontak disambung seri pada garis yang sama, kontak pertama berkait dengan instruksi LOAD atau LOAD NOT dan sisanya adalah instruksi AND atau AND NOT. Secara singkatnya perbedaan antara instruksi AND dan AND NOT ini terletak pada kondisi kontak sesudahnya.

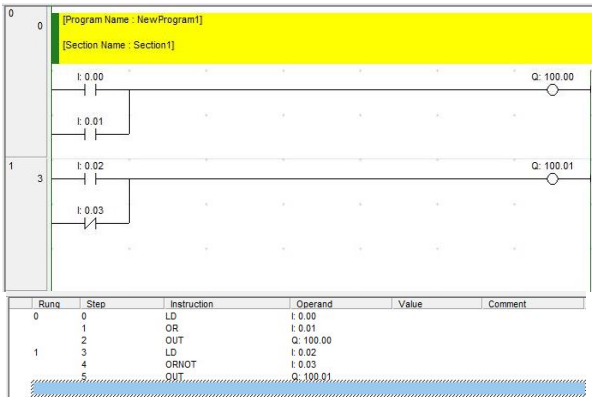


Rung	Step	Instruction	Operand	Value	Comment
0	0	LD	I: 0.00		
	1	AND	I: 0.01		
	2	ANDNOT	I: 0.02		
	3	OUT	Q: 100.00		
1	4	LDNOT	I: 0.03		
	5	AND	I: 0.04		
	6	ANDNOT	I: 0.05		
	7	OUT	Q: 100.01		

Gambar 215 Diagram *Ladder* AND dan AND NOT, Kode Mnemonik

[3]. Instruksi OR dan OR NOT

Prinsip logika OR adalah logika Atau. Keluaran akan bernilai satu jika salah satu masukan bernilai satu. Sehingga, ketika kedua masukan bernilai nol maka keluaran akan bernilai nol. Hal tersebut membuat keluaran tidak aktif. Biasanya hubungan logika dan itu adalah hubungan paralel. Sementara logika OR NOT adalah kebalikan dari logika OR. Jika dua atau lebih kontak terletak pada dua instruksi terpisah dan disambung paralel, kontak pertama mewakili instruksi LOAD atau LOAD NOT dan sisanya mewakili instruksi OR atau OR NOT. Secara singkatnya perbedaan antara instruksi OR dan OR NOT ini terletak pada kondisi kontak dibawahnya.



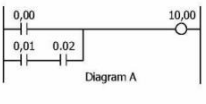
Rung	Step	Instruction	Operand	Value	Comment
0	0	LD	I: 0.00		
	1	OR	I: 0.01		
	2	OUT	Q: 100.00		
1	3	LD	I: 0.02		
	4	ORNOT	I: 0.03		
	5	OUT	Q: 100.01		

Gambar 216 Diagram *Ladder* OR dan OR NOT, Kode Mnemonik

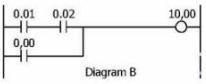
Eksekusi Program

Untuk mengurangi kemungkinan terjadinya kesalahan dalam merancang program kendali, perlu diingat hal-hal sebagai berikut :

- Jumlah kondisi (kontak) yang digunakan seri atau paralel dan juga banyaknya perulangan penggunaan suatu bit tak terbatas sepanjang kapasitas memori PLC tidak dilampaui
- Diantara dua garis instruksi tidak boleh ada kondisi yang melintas secara vertikal
- Tiap garis instruksi harus memiliki sedikitnya satu kondisi yang menentukan eksekusi instruksi sisi kanan, kecuali untuk instruksi END (01), ILC (03) dan JME (05)
- Dalam merancang diagram *ladder* harus memperhatikan kemungkinan instruksi yang diperlukan untuk memasukkannya. Misalnya, pada gambar A di bawah ini diperlukan instruksi OR LOAD. Hal ini dapat dihindari dengan menggambar ulang diagram *ladder* seperti gambar B.



Alamat	Instruksi	Operand
00000	LD	0,00
00001	LD	0.01
00002	AND	0.02
00003	OR LD	
00004	OUT	10.00



Alamat	Instruksi	Operand
00000	LD	0.01
00001	AND	0.02
00002	OR	0.00
00003	OUT	10.00

Gambar 217 Penyederhanaan Program Logika

Saat eksekusi program, PLC men scan program dari atas ke bawah, mengecek semua kondisi, dan mengeksekusi semua instruksi. Instruksi harus ditempatkan dengan tepat, misalnya data yang dikehendaki dipindahkan ke *words* sebelum *words* tersebut digunakan sebagai *operand* instruksi. Perhatikan garis instruksi berakhir pada instruksi terminal sisi kanan, setelah itu baru mengeksekusi garis instruksi bercabang ke instruksi terminal yang lain. Eksekusi program semata-mata merupakan salah satu tugas yang dilakukan oleh PLC sebagai bagian dari waktu siklus.

Prosedur program PLC

Untuk membuat program kendali PLC ditempuh melalui langkah langkah sistematis sebagi berikut :

[1]. Menguraikan urutan kendali, Pembuatan program diawali dengan penguraian urutan kendali. Ini dapat dibuat dengan menggunakan kalimat-kalimat logika, gambar gambar, diagram waktu, atau bagan alir (*flow chart*)

[2]. Menetapkan bit *operand* untuk peralatan *input/output*, Bit *operand* untuk peralatan *input/output* mengacu pada daerah memori PLC yang digunakan. Bit *operand* dapat dipilih secara bebas sejauh berada pada jangkah daerah memori yang dialokasikan. Tetapi, penggunaan secara bebas sering menjadikan ketidak konsistenan sehingga menjadikan program kendali keliru. Oleh sebab itulah penggunaan bit *operand* harus ditetapkan sebelum program dibuat. *Inventarisi* semua peralatan *input* dan *output* yang akan disambung ke PLC, kemudian tetapkan bit *operandnya*. Jumlah bit *oprand* yang tersedia bergantung kepada tipe PLC yang spesifikasikan menurut jumlah *input* outputnya. Perbandingan jumlah bit *input* dan *output* pada umumnya 3 : 2. Misalnya PLC dengan I/O 10 memiliki bit *input* sejumlah 6 dan bit *output* 4. Di bawah ini diberikan contoh daerah memori PLC OMRON CPM1A-10CDRA.

Bahan diskusi dan Tugas

1. Jelaskan Prinsip kerja PLC
2. Jelaskan bagian bagian dari PLC
3. Sebutkan 5 kelebihan dan kekurangan PLC
4. Jelaskan prosedur pemrograman PLC
5. Sebutkan contoh instruksi yang tidak memerlukan *Operand* dan Kondisi
6. Mengapa bits operand untuk peralatan I/O harus ditetapkan terlebih dahulu sebelum membuat diagram *ladder*.?

BAB 11

Arduino

ARDUINO

Arduino adalah pengendali mikro *single board* yang bersifat sumber terbuka, diturunkan dari *Wiring platform*, dirancang untuk memudahkan penggunaan elektronik dalam berbagai bidang. Perangkat kerasnya memiliki prosesor *Atmel* AVR dan *software* nya memiliki bahasa pemrograman sendiri.

Arduino juga merupakan senarai perangkat keras terbuka yang ditujukan kepada siapa saja yang ingin membuat purwarupa peralatan elektronik interaktif berdasarkan *hardware* dan *software* yang fleksibel dan mudah digunakan. *Mikrokontroler* diprogram menggunakan bahasa pemrograman arduino yang memiliki kemiripan *syntax*[11] dengan bahasa pemrograman C. Karena sifatnya yang terbuka maka siapa saja dapat mengunduh skema *hardware* arduino dan membangunnya.

Arduino menggunakan keluarga mikrokontroler ATMega yang dirilis oleh Atmel sebagai basis, namun ada individu/perusahaan yang membuat *clone* arduino dengan menggunakan mikrokontroler lain dan tetap kompatibel dengan arduino pada level *hardware*. Untuk fleksibilitas, program dimasukkan melalui *bootloader* meskipun ada opsi untuk mem bypass *bootloader* dan menggunakan pengunduh untuk memprogram mikrokontroler secara langsung melalui *port* ISP.

Sejarah Arduino

Pada tahun 2005 Henando Barragan mengajukan tesis di Institute Ivrea, Italia. Kemudian Massimo Banzi dan David Cuartielles mengembangkannya dengan tujuan awal yaitu untuk

[11] kata syntax berasal dari bahasa Yunani yang merupakan gabungan dari kata syn yang berarti "bersama", dan kata taxis yang berarti "rangkaian", "urutan". Jadi syntax adalah salah satu dari cabang ilmu linguistik yang mempelajari kaidah yang menentukan bagaimana kata membentuk frasa dan frasa membentuk kalimat. Secara etimologis istilah syntax adalah menempatkan bersama kata-kata menjadi kelompok kata atau kalimat dan kelompok-kelompok kata menjadi kalimat.

membantu para siswa membuat perangkat desain dan interaksi dengan harga yang murah dibandingkan dengan perangkat lain, dan diberi nama Arduin of Ivrea, kemudian diganti menjadi Arduino yang berarti Teman yang berani dalam Bahasa Italia. Pada bulan Mei 2011, Arduino sudah terjual lebih dari 300.000 unit. Arduino adalah sebuah *board* mikrokontroler yang bersifat open *source* , dimana desain skematik dan PCB bersifat open *source*, sehingga kita dapat menggunakannya maupun melakukan modifikasi. *Board* Arduino menggunakan *Chip*/IC mikrokontroler Atmel AVR, misalnya: Arduino NG atau *older* w/Atmega8 (*Severino*), Arduino Duemilanove atau Nano w/Atmega328, Arduino Uno, Arduino Mega2560, dll.

Software untuk membuat, mengompilasi dan mengupload program yaitu Arduino IDE atau disebut juga Arduino *Software* yang juga bersifat open *source*. *Software* ini dapat diunduh pada situs http://www.arduino.cc. Arduino IDE (Arduino *Software*) menghasilkan *file hex* dari baris kode instruksi program yang menggunakan bahasa C yang dinamakan *sketch* setelah dilakukan *compile* dengan perintah *Verify*/Compile.

Bootloader Chip/IC pada Arduino Board telah diisi oleh program yang dinamakan Arduino *bootloader*, yang memungkinkan kita meng *upload code* program tanpa menggunakan *hardware* tambahan (tanpa menggunakan programmer dari luar, seperti: AVR-ISP, STK500, *parallel* programmer , *usb* programmer). *Bootloader* akan aktif selama beberapa detik ketika *board* mengalami reset

Saat ini tim pengembangnya adalah Massimo Banzi, David Cuartielles, Tom Igoe, Gianluca Martino, David Mellis, dan Nicholas Zambetti. Mereka mengupayakan 4 hal dalam Arduino ini, yaitu:

[1]. Harga terjangkau
[2]. Dapat dijalankan di berbagai sistem operasi, Windows, *Linux*, *Mac*, dan sebagainya.
[3]. Sederhana, dengan bahasa pemrograman yang mudah bisa dipelajari orang awam, bukan untuk orang teknik saja.
[4]. Open *Source*, *hardware* maupun *software*.

Sifat Arduino yang Open *Source*, membuat Arduino berkembang sangat cepat. Sehingga banyak lahir perangkat-perangkat sejenis

Arduino. Seperti DFRDuino atau Freeduino, sedangkan untuk lokal ada CipaDuino yang dibuat oleh SKIR70, lalu ada MurmerDuino yang dibuat oleh Robot Unyil, ada lagi AViShaDuino yang salah satu pembuatnya adalah Admin Kelas Robot.

Sampai saat ini pihak resmi, sudah membuat berbagai jenis-jenis Arduino. Mulai dari yang paling mudah dicari dan paling banyak digunakan, yaitu Arduino Uno. Hingga Arduino yang sudah menggunakan ARM *Cortex*, berbentuk Mini PC. Hingga saat ini sudah ada ratusan ribu Arduino yang digunakan di dunia sejak tahun 2011. Arduino juga sudah dipakai oleh perusahaan perusahaan besar, contohnya Google menggunakan Arduino untuk *Accessory* Development Kit, NASA memakai Arduino untuk *prototypin*, ada lagi Large Hadron Colider memakai Arduino dalam beberapa hal untuk pengumpulan data. Arduino sebenarnya menggunakan bahasa C, yang sudah disederhanakan. Sehingga orang awam pun bisa menjadi seniman digital, bisa mempelajari Arduino dengan mudahnya.

Jenis Arduino

[1]. Arduino Uno

Arduino Uno menggunakan mikrokontroler Atmega328. Secara umum posisi/letak pin pin terminal I/O pada berbagai *Board* Arduino posisinya sama dengan posisi/letak pin pin terminal I/O dari Arduino Uno yang mempunyai 14 pin Digital yang dapat di set sebagai *Input/Output* (beberapa diantaranya mempunyai fungsi ganda), 6 pin *Input* Analog Jenis yang ini adalah yang paling banyak digunakan. Terutama untuk pemula sangat disarankan untuk menggunakan Arduino Uno. Mengingat banyaknya referensi yang membahas Arduino Uno.

Mikrokontroler	AT Mega 328P
Operating Voltage	5 V
Input Voltage (*recommended*)	7 – 12 V
Input Voltage (limit)	6-20 V
Digital I/O Pins	14

PWM Digital I/O Pins	6
Analog *Input* Pins	6
DC Current per I/O Pin	20 mA
DC Current for 3.3 V pin	50 mA
Flash Memory	32 KB (AT mega 328P) of *which* 0.5 KB *used by bootloader*
SRAM	2 KB (AT mega 328P)
EEPROM	1 KB (AT mega 328P)
Clock Speed	16 Mhz
LED *Builtin*	13
Length	68.6 mm
Width	53.4 mm
Weight	25 g

Gambar 218 Arduino Uno

[2]. Arduino Duemilanove

Berbeda dengan Arduino Uno, Arduino Due tidak menggunakan Atmega, melainkan dengan *chip* yang lebih tinggi ARM *Cortex* CPU. Memiliki 54 *input/output* pin digital dan 12 pin input analog. Untuk pemrogramannya menggunakan *Micro* USB, terdapat pada beberapa *handphone*

Gambar 219 Arduino Duemilanove

[3]. Arduino Leonardo

Arduino Leonardo menggunakan mikrokontroler Atmega32u4. Memiliki 20 digital pin I/O dan 12 *input* analog

Gambar 220 Arduino Leonardo

[4]. Arduino Mega 2560

Menggunakan mikrokontroler Atmega 2560. Memiliki 54 digital pin I/O, 16 input analog, dan 4 UART (*hardware port* serial)
Mirip dengan Arduino Uno, sama sama menggunakan USB *type* A ke B untuk koneksi ke komputer. Perbedaan Arduino uno dan arduino mega yang mendasar adalah pada IC Microcontroller yang digunakan. Arduino Mega menggunakan *Chip* ATMEGA2560 yang memiliki ukuran memori dan jumlah pin yang lebih banyak.

Mikrokontroler	AT Mega2560
Operating Voltage	5 V
Input Voltage (*recommended*)	7 – 12 V
Input Voltage (limit)	6-20 V
Digital I/O Pins	54
PWM Digital I/O Pins	6
Analog *Input* Pins	16
DC *Current* per I/O Pin	20 mA
DC *Current* for 3.3 V pin	50 mA
Flash Memory	256 KB of which 8 KB used by *bootloader*
SRAM	8 KB
EEPROM	4 KB
Clock Speed	16 Mhz
LED *Builtin*	13
Length	101.52 mm
Width	53.3 mm
Weight	37 g

Gambar 221 Arduino Mega 2560

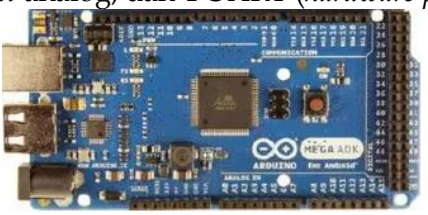
[5]. Arduino Nano

Sepertinya namanya, "Nano". Arduino nano ini memiliki ukuran yang kecil dan sangat sederhana, secara spesifikasi Arduino Nano ini memiliki spesifikasi teknis hampir sama dengan Arduino Uno. Arduino Nano menggunakan kabel *Micro* USB untuk koneksi ke komputer. Arduino nano mempunyai 8 Pin *input* Analog (lebih banyak dari Uno). Di pasaran jenis arduno nano ini dijual dengan beberapa versi. Versi menggunakan IC
Microcontroller atmega168 dan atmega328
Dilengkapi dengan FTDI untuk pemrograman lewat Micro USB. Memiliki 14 digital pin I/O

Mikrokontroler	AT Mega328
Operating Voltage	5 V
Input Voltage (*recommended*)	7 – 12 V
Digital I/O Pins	22 (6 of which are PWM)
PWM Digital I/O Pins	6
Analog *Input* Pins	8
DC *Current* per I/O Pin	40 mA
Flash Memory	32 KB of which 2 KB used by *bootloader*
SRAM	2 KB
EEPROM	1 KB
Clock Speed	16 Mhz
Power *Consumption*	19 mA
PCB Size	18 x 45 mm
Weight	7 g

Gambar 222 Arduino Nano

[6]. Arduino Mega ADK
Menggunakan mikrokontroler Atmega2560. Memiliki 54 digital pin I/O, 16 *input* analog, dan 4 UART (*hardware port* serial)



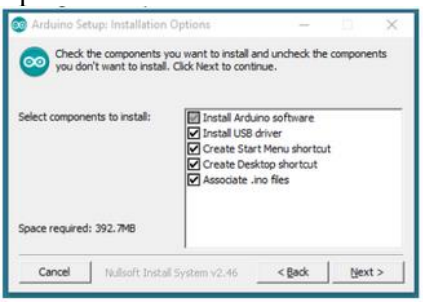
Gambar 223 Arduino Mega ADK

Arduino IDE

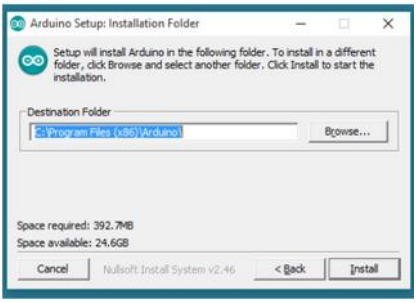
Arduino IDE (*Integrated* Development *Environment*) adalah sebuah *software* yang dapat kita gunakan untuk berkomunikasi dengan *board* arduino seperti menuliskan kode program, mengirim data serial, menerima data serial dan lain lain.

Instalasi

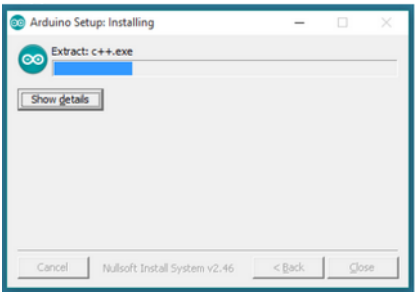
[1]. *Download Software* Arduino IDE di link berikut: https://www.arduino.cc/download_handler.php?f=/arduino-1.8.9-windows.exe
[2]. Buka *File* "arduino-1.8.9-windows.exe"
[3]. Ceklis semua opsi dan klik *next*



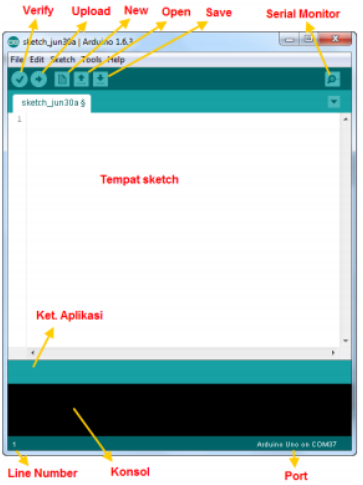
[4]. Pilih lokasi instalasi lalu klik *next*



[5]. Tunggu sampai selesai



Selanjutnya, jika kita menyebut *source code* yang ditulis untuk Arduino, kita sebut "*sketch*" juga ya :). *Sketch* merupakan *source code* yang berisi logika dan algoritma yang akan diupload ke dalam IC mikrokontroller (Arduino).



Gambar 224 Interface Arduino IDE

Interface Arduino IDE tampak seperti gambar 224 Dari kiri ke kanan dan atas ke bawah, bagian-bagian IDE Arduino terdiri dari:

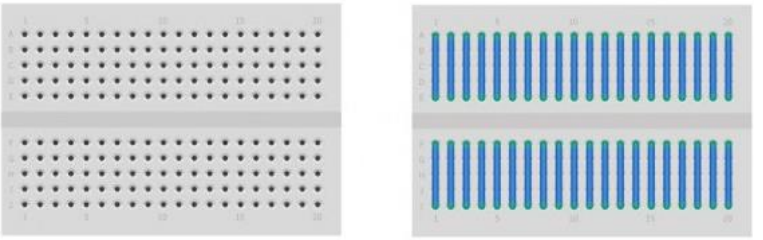
- **Verify** : pada versi sebelumnya dikenal dengan istilah *Compile*. Sebelum aplikasi diupload ke *board* Arduino, biasakan untuk memverifikasi terlebih dahulu *sketch* yang dibuat. Jika ada kesalahan pada *sketch*, nanti akan muncul *error*. Proses *Verify / Compile* mengubah *sketch* ke *binary code* untuk diupload ke mikrokontroller
- **Upload** : tombol ini berfungsi untuk mengupload *sketch* ke *board* Arduino. Walaupun kita tidak mengklik tombol *verify*, maka *sketch* akan di compile, kemudian langsung diupload ke *board*. Berbeda dengan tombol verify yang hanya berfungsi untuk memverifikasi *source code* saja
- **New Sketch** : Membuka *window* dan membuat *sketch* baru
- **Open Sketch** : Membuka *sketch* yang sudah pernah dibuat. *Sketch* yang dibuat dengan IDE Arduino akan disimpan dengan ekstensi *file* .**ino**
- **Save Sketch** : menyimpan *sketch*, tapi tidak disertai *mengcompile*.
- **Serial Monitor** : Membuka *interface* untuk komunikasi serial, nanti akan kita diskusikan lebih lanjut pada bagian selanjutnya
- **Keterangan Aplikasi** : pesan-pesan yang dilakukan aplikasi akan muncul di sini, misal "*Compiling*" dan "*Done Uploading*" ketika kita *mengcompile* dan mengupload *sketch* ke *board* Arduino
- **Konsol** : Pesan-pesan yang dikerjakan aplikasi dan pesan-pesan tentang *sketch* akan muncul pada bagian ini. Misal, ketika aplikasi *mengcompile* atau ketika ada kesalahan pada *sketch* yang kita buat, maka informasi *error* dan baris akan diinformasikan di bagian ini
- **Baris Sketch** : bagian ini akan menunjukkan posisi baris kursor yang sedang aktif pada *sketch*.
- Informasi Port : bagian ini menginformasikan *port* yang dipakai oleh *board* Arduino

Breadboard/ Project Board

Breadboard adalah *board* yang digunakan untuk membuat rangkaian elektronik sementara dengan tujuan uji coba atau prototipe tanpa harus menyolder. Dengan memanfaatkan breadboard, komponen-komponen elektronik yang dipakai tidak akan rusak dan dapat digunakan kembali untuk membuat

rangkaian yang lain. *Breadboard* umumnya terbuat dari plastik dengan banyak lubang lubang diatasnya. Lubang lubang pada *breadboard* diatur sedemikian rupa membentuk pola sesuai dengan pola jaringan koneksi di dalamnya.

Breadboard yang tersedia di pasaran umumnya terbagi atas 3 ukuran: mini *breadboard*, medium *breadboard* atau *large breadboard*. Mini *breadboard* memiliki 170 titik koneksi (bisa juga lebih). Kemudian medium *breaboard* memiliki 400 titik koneksi. Dan *large breadboard* memiliki 830 titik koneksi.

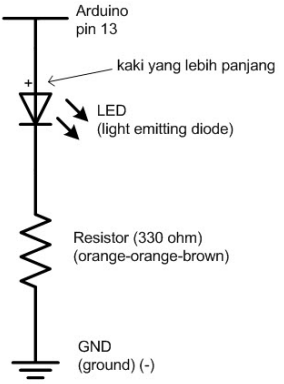


Gambar 225 Breadboard

Perhatikan gambar diatas, sebuah mini *breadboard* dengan 200 titik koneksi. Pada bagian kanan dapat dilihat pola *layout* koneksi yang digambar dengan garis berwarna biru. Pada *breadboard* tersebut dapat dilihat penulisan huruf A, B, C, D, E, F, G, H, I dan J. Kemudian ada angka 1, 5, 10, 15 dan 20. Huruf dan angka ini membentuk semacam koordinat. A1, B1, C1, D1 dan E1 saling berhubungan sesuai pola koneksinya (lihat kembali garis berwarna biru). Begitu juga A2 –> E2, A3 –> E3, F1 –> J1, F2 –> J2 dan seterusnya. Dengan memahami pola koneksi ini kita sudah bisa memakai *breadboard* untuk keperluan prototipe rangkaian sehingga dapat menempatkan komponen elektronik secara tepat sesuai gambar rangkaian yang dimaksud.

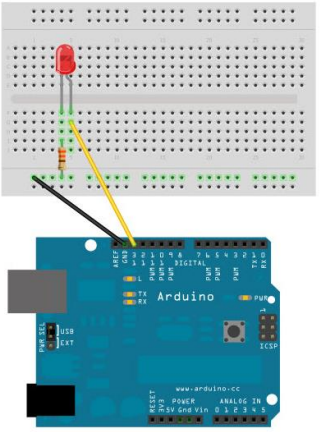
Gambar diatas adalah medium *breadboard* dengan 400 titik koneksi. Medium *breadboard* ini biasa juga disebut *half* (setengah) *breadboard*. Karena ukurannya kurang lebih setengah dari ukuran *large* / *full breadboard* dengan 830 titik koneksi.

Setelah mengetahui dasar dasar tentang *breadboard*, kita coba menggunakannya dengan Arduino. Rangkaian dasar yang biasa dipakai untuk belajar Arduino adalah *Blinking* LED.



Gambar 226 Skema rangkaian Blinking LED

Setelah kita mengetahui rangkaian apa yang akan dibuat, selanjutnya adalah penerapannya menggunakan *breadboard* dan Arduino.



Gambar 227 Aplikasi Arduino ke *Breadboard*

Bahan diskusi dan Tugas

1. Jelaskan jenis jenis Arduino
2. Jelaskan fungsi kontroler pada Arduino
3. Sebutkan 3 contoh aplikasi yang menggunakan arduino
4. Jelaskan Bahasa pemrograman pada Arduino
5. Jelaskan fungsi *Beardboard* pada pemrograman Arduino

Daftar Pustaka

Bakar, A. (2014). *Mekatronika.* Aceh: Universitas Malikussaleh.

Bolton, W. (2004). *Programmable Logic Controller (PLC) edisi tiga.* Erlangga.

Cooper, W. D. (1985). *Instrumentasi Elektronik Teknik Pengukuran.* Surabaya: Erlangga.

ETP, L. (2011). *Mekatronika.* Jakarta: Universitas Gunadarma.

Ilman. (2020, 7 29). *Belajar PLC*. Retrieved from Sequence Control 1 : http://www.anelectrica.com/2017/07/sequence-control-1.html

J. Webb. (1992). *Programmable Logic Control.* New York: Macmillan Publish.

Jacob, M. (1986). *Industrial Control Elektronics.* New Jersey: Prentice-Hall Inc.

santoso, H. (2016). *Panduan Praktis Arduino untuk pemula.* Trenggalek,.

Sutarsi Suhaeb, d. (2017). Pengenalan & Sejarah Mikrokontroler. In *mikrokontroler dan interace* (pp. 2-4). Makassar: Universitas Negri Makassar.

Wardoyo, S. (2011). *Dasar Mikroprosessor.* Cilegon: Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.

widianto, E. d. (2011). *Sistem Digital analisis dan Desain.* Semarang: Graha Ilmu.

Yusro, M. (2017). In M. Yusro, *MODUL PELATIHAN MIKROKONTROLER ATMega8535* (pp. 4-19). PT Bukaka Teknik Utama.

Tentang Penulis

Zufri Hasrudy Siregar, S.T.,M.Eng, lahir di Medan, 21 September 1980. Beliau menyelesaikan program Master di Universitas Gadjah Mada (UGM) pada tahun 2009 dengan program beasiswa, bidang konsentrasi Industri Kecil dan Menengah. Beliau juga sebagai Dosen di beberapa Universitas baik di Maluku Utara dan Sumatera Utara dengan mata kuliah Mekatronika pada Teknik Mesin dan Industri. Organisasi yang pernah di ikuti adalah sebagai anggota Dewan Riset Daerah Labuhanbatu 2018 dan sebagai ketua Prolitbang di P-Tali (Perkumpulan Forum Tenaga Ahli Lingkungan) 2019-2023. Buku ini adalah buku ke-3 (tiga) yang disusun dan diterbitkan setelah buku "Metode Praktis Riset Operasi" 2019, dan "Teknologi dan terapan dalam perspektif Industri kecil dan Menengah" 2019.

Masdania Zurairah Siregar adalah seorang yang berprofesi sebagai dosen di beberapa perguruan Tinggi Swasta di kota Medan, Kelahiran Padang Sidempuan 8 Februari 1964. Anak kedua dari lima bersaudara ini. Setelah lulus dari S-1 beliau melanjutkan studinya ke jenjang Pasca Sarjana (S-2) Kimia di Universitas yang sama (15 Agustus 1999). Di Universitas yang sama pula beliau menyelesaikan studi doktornya dalam bidang kimia pada 09 April 2015. selain itu beliau juga mengabdikan Ilmunya di Fakultas Teknik Prodi industri Universitas Al Azhar 2010 sampai sekarang; begitu juga di Akademi Keperawatan Kesdam-I Bukit Barisan beliau juga menjadi Dosen sejak 2001 sampai sekarang.

Mawardi, ST.,MT Lahir di Muliorejo, 11 April 1972. Lulus Sarjana Teknik Universitas Al Azhar di Medan pada tahun 1999. Menyelesaikan Master Teknik Mesin di Universitas Sumatera Utara bidang struktur material. Saat ini dosen tetap di Universitas Al Azhar. Buku ini adalah buku yang pertama kali terbit. Judul buku ini adalah Mekatronika tahun 2020. Buku kedua selanjutnya berjudul Pengetahuan Bahan tahun 2020. Pengalaman sebagai praktisi di lapangan pada tahun 2000-2004 sebagai Technical Engineering Special Mechanical Seal John Crane. pada tahun 2005 -2007 sebagai Technical Engineering Hydraulic system Hydac ex Germany. Tahun 2016 sampai sekarang sebagai Engineering support di PLN di Sumatera Utara